



TUGAS AKHIR TERAPAN – RC 145501

**MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT
UNESA LIDAH DENGAN METODE SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

LUKI DIA UTARININGRUM
NRP. 3112030039

ADE AYU YULIA SARASWATI LABINA
NRP. 3112030081

Dosen Pembimbing
Ir. M. SIGIT DARMAWAN M.Eng.Sc, Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015**



TUGAS AKHIR TERAPAN – RC 145501

**MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT
UNESA LIDAH DENGAN METODE SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

LUKI DIA UTARININGRUM
NRP. 3112030039

ADE AYU YULIA SARASWATI LABINA
NRP. 3112030081

Dosen Pembimbing
Ir. M. SIGIT DARMAWAN M.Eng.Sc, Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015**



FINAL PROJECT APPLIED – RC 145501

**STRUCTURE MODIFICATION OF RECTORATE
SURABAYA STATE UNIVERSITY LIDAH
BUILDING BY USING INTERMEDIATE MOMENT
RESISTANT FRAME SYSTEM**

**LUKI DIA UTARININGRUM
NRP. 3112030039**

**ADE AYU YULIA SARASWATI LABINA
NRP. 3112030081**

**Counsellor Lecturer
Ir. M. SIGIT DARMAWAN M.Eng.Sc, Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003**

**DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2015**



FINAL PROJECT APPLIED – RC 145501

**STRUCTURE MODIFICATION OF RECTORATE
SURABAYA STATE UNIVERSITY LIDAH
BUILDING BY USING INTERMEDIATE MOMENT
RESISTANT FRAME SYSTEM**

LUKI DIA UTARININGRUM
NRP. 3112030039

ADE AYU YULIA SARASWATI LABINA
NRP. 3112030081

Counsellor Lecturer
Ir. M. SIGIT DARMAWAN M.Eng.Sc, Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

**DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2015**

**MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT
UNESA LIDAH DENGAN METODE SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

TUGAS AKHIR TERAPAN

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya**

Pada

**Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Disusun oleh:

Mahasiswa I



**LUKI DIA U.
NRP. 3112030039**

Mahasiswa II



**ADE AYU YULIA S.
NRP. 3112030081**

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :



**Ir. M. SIGIT DARMAWAN M.Eng.Sc, Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003**

13 JUL 2015

Surabaya, Juli 2015

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT UNESA LIDAH DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH

Nama Mahasiswa I : Luki Dia Utariningrum
NRP : 3112030039
Nama Mahasiswa II : Ade Ayu Yulia Saraswati Labina
NRP : 3112030081
Jurusan : Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS
Dosen Pembimbing : Ir.M.Sigit Darmawan,M.EngSc, Ph.D

ABSTRAK

Dalam perancangan struktur gedung, pengaruh ketahanan gempa merupakan salah satu hal yang penting untuk dianalisa, terutama bangunan-bangunan yang berada dalam wilayah yang sering dilanda gempa besar. Mengingat bahwa wilayah kepulauan Indonesia terletak didaerah yang rawan gempa, oleh karena itu, diperlukan suatu perancangan yang baik terhadap bahaya gempa serta mampu membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih dapat diperbaiki dan kerugian yang terjadi tidak besar.

Struktur yang akan direncanakan adalah Gedung Rektorat Unesa Lidah dan terletak di wilayah Surabaya. Pada pembahasan Tugas Akhir, Gedung ini dimodifikasi menjadi 4 lantai dengan panjang $\pm 38\text{m}$ dan lebar $\pm 38\text{m}$. Berdasarkan hasil SPT, diketahui bahwa gedung dibangun diatas tanah dengan kondisi tanah Sedang. Dalam tugas akhir ini akan direncanakan struktur gedung beton bertulang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Metode ini merupakan metode perencanaan struktur tahan gempa yang mengacu pada SNI 1726-2012. Karena bangunan termasuk dalam katagori bangunan tidak beraturan, maka perencanaan beban akibat gempa menggunakan metode analisa respon dinamik yaitu respon spektrum. Sedangkan perhitungan

pembebanan non gempa berdasarkan fungsi bangunan sesuai dengan peraturan pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG) 1983. Sedangkan perencanaan beton dan struktur pondasi menggunakan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung yang mengacu pada SNI 2847-2013 dan SNI 2847-2002.

Kata Kunci : Respon spectrum, SRPMM

STRUCTURE MODIFICATION OF RECTORATE SURABAYA STATE UNIVERSITY LIDAH BUILDING BY USING INTERMEDIATE MOMENT RESISTANT FRAME SYSTEM

Name I : Luki Dia Utariningrum
Register Number : 3112030039
Name II : Ade Ayu Yulia Saraswati Labina
Register Number : 3112030081
Faculty : Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS
Counsellor Lecturer : Ir.M.Sigit Darmawan,M.EngSc, Ph.D

ABSTRACT

In the design of the building structure, the influence of earthquake resistance is one important thing to be analyzed, especially buildings that are in a region that is frequently hit by major earthquakes. Given that the Indonesian archipelago located in the area that is prone to earthquakes. So, we need a good design against earthquake hazard and be able to limit the damage to the building caused by the earthquake of mild to moderate, so that they can be improved and losses are not great.

Structure which will be planned is the Rector Building Surabaya in Tongue and located in Surabaya. In the discussion of final project, this building is modified into four floors with a length of $\pm 38\text{m}$ and width $\pm 38\text{m}$. Based on the results of SPT, it is known that the building was built on land with soil conditions Medium. In this final project will be planned structure of reinforced concrete building using Intermediate Moment Frame System bearers (SRPMM). This method is a method of earthquake resistant structural design which refers to SNI 1726-2012. Because the building is included in the category of irregular buildings, the planning burden caused by the earthquake dynamic response analysis method that is the response spectrum. While the non

seismic loading calculations based on the function of the building in accordance with the regulatory imposition Indonesia For Building (PPIUG) 1983. While planning for concrete and foundation structure using the Procedure for Calculation of Concrete Structures for Buildings which refers to SNI 2847-2013 and SNI 2847-2002.

Keywords : Response Spectrum, Intermediate Moment Resisting Frame System Method

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya. Kami sebagai penulis telah menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir Terapan ini dengan judul **“Modifikasi Struktur Gedung Rektorat Unesa Lidah Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah”**

Tersusunnya Tugas Akhir Terapan ini tidak terlepas dari bantuan serta motivasi yang telah diberikan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan kelancaran dalam menyusun Tugas Akhir Terapan ini.
2. Kedua orang tua dan saudara-saudara kami tercinta, sebagai penyemangat dan banyak memberikan dukungan moral maupun material serta doanya.
3. Bapak Ir.M.Sigit Darmawan,M.EngSc, Ph.D, selaku dosen pembimbing dan Ketua Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS yang telah mendidik dan memberikan motivasi serta doa dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan ini.
4. Segenap dosen dan karyawan Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS
5. Teman-teman semua yang telah membantu dan memberikan saran dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan, untuk itu segala bentuk saran dan kritik yang bersifat membangun sangat kami harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir Terapan ini. Dan kami berharap semoga Tugas Akhir Terapan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membaca. Amin.

Penyusun

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Maksud dan Tujuan	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Data Perencanaan	3
BAB II.....	5
DASAR TEORI PERENCANAAN.....	5
2.1 Peraturan Yang Digunakan	5
2.2 Pembebanan.....	5
2.2.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>).....	5
2.2.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	6

2.2.3	Beban Gempa (<i>Earthquake Load</i>).....	6
2.2.4	Beban Angin.....	13
2.3	Perencanaan Pelat.....	13
2.3.1	Perencanaan tebal pelat.....	13
2.3.2	Analisa struktur pelat.....	15
2.3.3	Penulangan Pelat.....	16
2.4	Perencanaan Tangga.....	17
2.4.1	Perencanaan Dimensi Tangga.....	17
2.4.2	Pembebanan Tangga.....	17
2.4.3	Penulangan Struktur Tangga.....	18
2.5	Perencanaan Balok.....	18
2.5.1	Perhitungan dimensi balok.....	18
2.5.2	Syarat pelindung beton.....	18
2.5.3	Persyaratan spasi tulangan.....	18
2.5.4	Perhitungan Momen dan Gaya Dalam pada Balok.....	19
2.5.5	Perhitungan Tulangan Torsi.....	19
2.5.6	Perhitungan penulangan lentur balok.....	20
2.5.7	Perhitungan tulangan geser pada balok.....	22
2.5.8	Ketentuan-ketentuan perhitungan balok sisten rangka pemikul momen menengah.....	24
2.5.9	Panjang Penyaluran Tulangan.....	25
2.6	Perencanaan Kolom.....	25
2.6.1	Perhitungan Dimensi Kolom.....	25

2.6.2	Perencanaan tulangan kolom.....	25
2.6.3	Perhitungan Jarak Spasi Tulangan Pada Kolom	30
2.7	Perencanaan Struktur Pondasi	31
2.7.1	Perhitungan Daya Dukung Tanah.....	31
2.7.2	Perencanaan Tiang Pancang.....	31
2.7.3	Perencanaan Pile Cap (poer)	32
2.7.4	Panjang penyaluran tulangan kolom.....	33
2.7.5	Kontrol geser pons poer.	34
2.8	Perencanaan Balok Baja.....	35
2.8.1	Kontrol Dimensi Balok.....	35
2.8.2	Perhitungan Kekuatan.....	35
2.8.3	Kuat nominal lentur penampang tekuk lokal	35
2.8.4	Cek Momen nominal pengaruh tekuk lateral	36
2.8.5	Menentukan Tahanan Momen Lentur.....	37
2.8.6	Menentukan Tahanan Geser	37
2.8.7	Interaksi Geser dan Lentur.....	38
2.8.8	Kontrol Lendutan.....	38
2.8.9	Sambungan.....	38
BAB III	.....	43
METODOLOGI	.....	43
3.1	Langkah Metodologi	43
3.1.1	Pengumpulan data.....	43
3.1.2	Preliminary desain.....	43

3.1.3	Perhitungan pembebanan.....	43
3.1.4	Analisa Struktur.....	44
3.1.5	Perhitungan Penulangan Struktur.....	44
3.1.6	Kontrol Persyaratan.....	45
3.1.7	Gambar Rencana.....	45
3.2	Bagan Alur	47
3.2.1	Perencanaan Struktur Atas.....	48
3.2.2	Perencanaan Struktur Bawah.....	69
BAB IV		73
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		73
4.1	Perencanaan Awal Struktur	73
4.1.1	Perencanaan Dimensi Balok.....	73
4.1.2	Perencanaan Dimensi Kolom.....	81
4.1.3	Perencanaan Dimensi Pelat.....	84
4.2	Perhitungan Gempa	101
4.2.1	Respons Spektrum Gempa rencana.....	102
4.2.2	Input perhitungan respon spektrum.....	104
4.2.3	Faktor Keutamaan.....	105
4.2.4	Faktor Reduksi Gempa.....	105
4.2.5	Arah Pembebanan Gempa Respons Dinamik.....	105
4.2.6	Analisis Ragam Respons Spektrum.....	107
4.2.7	Kontrol Simpangan Antar Lantai Tingkat.....	108
4.3	Perhitungan Pelat.....	110

4.4	Perencanaan Tangga.....	129
4.4.1	Perencanaan Dimensi Tangga.....	132
4.4.2	Pembebanan Tangga dan bordes.....	134
4.4.3	Perhitungan Penulangan Anak Tangga.....	135
4.4.4	Perhitungan Penulangan Bordes Tangga....	139
4.4.5	Perencanaan Dimensi Tangga.....	144
4.4.6	Pembebanan Tangga.....	146
4.4.7	Perhitungan Penulangan Anak Tangga.....	146
4.5	Perencanaan Struktur Bangunan	151
4.5.1	Bentuk 3D Bangunan.....	151
4.5.2	Bentuk pelat lantai 1.....	152
4.5.3	Bentuk 3D Tangga.....	153
4.6	Perhitungan Balok	154
4.6.1	Perhitungan Penulangan Balok Induk.....	154
4.6.1.5	Kontrol Retak.....	198
4.6.3	Perhitungan Penulangan Balok Bordes.....	242
4.6.3.2	Perhitungan Tulangan Geser.....	272
4.6.3.4	Perhitungan Panjang Penyaluran.....	281
4.6.2.5	Kontrol Retak.....	285
4.7	Perhitungan Balok Baja.....	286
4.7.1	Kontrol Dimensi Balok Induk.....	288
4.7.2	Kontrol Dimensi Balok Anak.....	298
4.7.3	Perencanaan Sambungan.....	303

4.8	Perhitungan Kolom.....	318
4.8.1	Penulangan Lentur Kolom.....	318
4.8.2	Penulangan Geser Kolom.....	347
4.8.3	Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom.....	352
4.8.4	Panjang Penyaluran Tulangan Kolom.....	352
4.9	Perhitungan Sloof.....	354
4.10	Perhitungan Pondasi Tiang Pancang dan Poer ...	374
4.10.1.1	Pondasi Tipe 1.....	376
4.10.1.1.1	Perhitungan Pondasi dan Dimensi Poer.....	376
4.10.1.2	Perencanaan Tulangan Lentur Poer.....	392
4.10.2	PONDASI TIPE 2.....	397
4.10.2.1	Perhitungan Pondasi dan Dimensi Poer.....	397
4.10.2.2	Perencanaan Tulangan Lentur Poer.....	412
BAB V	.....	417
PENUTUP	.....	417
5.1	Kesimpulan.....	417
5.2	Saran.....	421
DAFTAR PUSTAKA	.....	423

DAFTAR TABEL

Tabel 2.2 1 Klasifikasi Situs	7
Tabel 2.2 2 Koefisien Situs (F_a)	8
Tabel 2.2 3 Koefisien Situs (F_v)	9
Tabel 2.2 4 Kategori Risiko	10
Tabel 2.2 5Faktor Keutamaan Gempa	10
Tabel 2.2 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	10
Tabel 2.2 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	11
Tabel 2.2 8 koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u)	11
Tabel 2.2 9 Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa	12
Tabel 2.8 1Ukuran minimum las sudut.....	41
Gambar 4.2 2 Denah Lantai 3	102
Tabel 4.2 1 respon spektrum.....	104
Tabel 4.2 3Simpangan Antar Lantai	108
Tabel 4.2 2Hasil total Partisipasi Massa pada ragam ke-9.....	108
Tabel 4.2 4Output SAP Join Displacements.....	109

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2 1 Peta respon spektra percepatan 0.2 detik(SS)	7
Gambar 2.2 2 Peta respon spektra percepatan 1.0 detik (S1).....	8
Gambar 2.3 1Bentang Pelat	14
Gambar 2.6 1 Faktor Panjang Efektif (k).....	27
Gambar 2.8 1Robekan baut terhadap pelat sambung.....	40
Gambar 4.1. 1 Gambar Denah Balok Induk Melintang yang Ditinjau.....	75
Gambar 4.1. 2 Denah Perencanaan Balok Anak yang Ditinjau ..	76
Gambar 4.1. 3 Gambar Denah Perencanaan Balok Kantilever yang Ditinjau.....	78
Gambar 4.1. 4 Denah kolom yang ditinjau	82
Gambar 4.1. 5 Pelat A yang ditinjau.....	87
Gambar 4.1. 6 Lebar efektif pada balok T dan L	88
Gambar 4.1. 7 Pelat I yang ditinjau	94
Gambar 4.1. 8 Lebar efektif pada balok T dan L.....	95
Gambar 4.2 1 ketidakberaturan sudut dalam	101
Gambar 4.2 3 Peta Hazard Indonesia.....	103
Gambar 4.2 4 Input kurva Respons Spektrum pada Permodelan SAP	105
Gambar 4.2 5 Input Respons Spectrum Arah X pada Permodelan SAP2000	106
Gambar 4.2 6 Input Respons Spectrum Arah Y pada Permodelan SAP2000	107
Gambar 4.4 1 Denah tangga tipe 1.....	132
Gambar 4.4 2 Permodelan Tangga.....	134
Gambar 4.4.5 Denah Tangga Tipe 2.....	144
Gambar 4.4.6 Permodelan Tangga.....	146
Gambar 4.5 1Perencanaan Bangunan bentuk 3D.....	151
Gambar 4.5 2 Perencanaan Pelat Lt. 1	152

Gambar 4.5 3Perencanaan Pelat Lt. 2.....	152
Gambar 4.5 4 Bentuk 3D Tangga.....	153
Gambar 4.6 1 Lokasi balok yang ditinjau.....	154
Gambar 4.6 2 Tinggi Efektif Balok.....	155
Gambar 4.6 3 Diagram momen pada tumpuan kiri akibat gempa dan gravitasi.....	156
Gambar 4.6 5 Diagram geser akibat 1,2 D + 1L.....	157
Gambar 4.6 4 Diagram momen pada tumpuan kanan akibat gempa dan gravitasi.....	157
Gambar 4.6 6 Diagram torsi pada balok akibat 1,2 D +1,6 L....	157
Gambar 4.6 7 Luasan Acp dan Aoh	160
Gambar 4.6 8 Tinggi efektif balok	171
Gambar 4.6 9 Sketsa hasil perhitungan	183
Gambar 4.6 13 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir	195
Gambar 4.6 14 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis	195
Gambar 4.6 15 Faktor Agregat Ringan	196
Gambar 4.6 16 Pembagian Wilayah Geser pada Balok.....	199
Gambar 4.6 17 Lokasi Balok yang ditinjau.....	200
Gambar 4.6 18 Tinggi Efektif Balok.....	201
Gambar 4.6 20 Diagram daerah tumpuan kiri akibat beban gravitasi dan gempa.....	203
Gambar 4.6 21 Luasan Acp dan Aoh	206
Gambar 4.6 22 Tinggi efektif balok	214
Gambar 4.7.3.1 Sambungan Balok Anak dan Balok Induk.....	304
Gambar 4.7.3.2 Sambungan Balok WF dan Kolom Beton.....	306
Gambar 4.7.3.3 Diagram reaksi pada sambungan baut	308
Gambar 4.7.3.4 Perencanaan Shear Connector	311
Gambar 4.7.3.5 Perencanaan Lebar Efektif.....	312
Gambar 4.7.3.6 Diagram Tegangan Plastis	314
Gambar 4.7.3.7 Konektor Stud.....	315
Gambar 4.7.3.7 Jarak antara konektor stud	316

Gambar 4.8 1 Tinggi Efektif Kolom.....	324
Gambar 4.8 2 Denah Posisi Kolom K-1 (40/40).....	324
Gambar 4.8 3 Posisi K-1 (40/40) Pada Sumbu X-Z	325
Gambar 4.8 4 Posisi K-1 (40/40) Pada Sumbu Y-Z	325
Gambar 4.8 6 Diagram Interaksi.....	332
Gambar 4.8 7 Penampang Kolom dalam arah y	333
Gambar 4.8 8 Diagram Interaksi.....	340
Gambar 4.8 9 Penampang Kolom dalam arah x	341
Gambar 4.8 10 Penulangan Lentur Kolom	345
Gambar 4.8 11 Grafik Akibat Momen Pada program PCACOL	346
Gambar 4.8 12 Hasil Output Pada Program PCACOL	346
Gambar 4.8 14 Penampang Kolom.....	353
Gambar 4.9 3 Output SAP dengan Momen terbesar.....	357
Gambar 4.9 4 Output SAP dengan aksi terbesar.....	358
Gambar 4.9 5 Diagram Gaya Geser Sloof yang terbesar	358
Gambar 4.6 42 Persamaan geser untuk balok SRPMM.....	360
Gambar 4.10 2 Penampang Poer akibat beban tetap.....	381
Gambar 4.10 4 Penampang poer akibat beban sementara.....	383
Gambar 4.10 5 Penampang poer akibat beban sementara.....	385
Gambar 4.10 6 Bidang Kritis Pons Satu Arah	387
Gambar 4.10 7 Bidang kritis pons dua arah.....	388
Gambar 4.10 10 Penampang poer akibat beban sementara.....	403
Gambar 4.10 11 Penampang pilecap akibat beban sementara ..	405
Gambar 4.10 12 Bidang Kritis pons satu arah	407
Gambar 4.10 13 Penampang kritis akibat geser pons dua arah.	408

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

A_{cp}	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm^2)
A_e	= Luas penampang efektif (mm^2)
A_g	= Luas penampang kotor (mm^2)
A_l	= Luas total tulangan longitudinal yang menahan torsi (mm^2)
A_o	= Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser (mm^2)
A_{oh}	= Luas daerah yang dibatasi oleh garis pusat tulangan sengkang torsi terluar (mm^2)
A_s	= Luas tulangan tarik non pra tegang (mm^2)
A_{sc}	= Luas tulangan longitudinal / lentur rencana yang diperhitungkan dalam memikul momen lentur (mm^2)
A_s'	= Luas tulangan tekan non prategang (mm^2)
A_v	= Luas tulangan geser pada daerah sejarak s atau luas Tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak s pada komponen struktur lentur tinggi (mm^2)
A_w	= Luas pelat badan (mm^2)
a	= Jarak antara dua pengaku vertikal (mm)
b_o	= Keliling dari penampang kritis yang terdapat tegangan geser maksimum pada pondasi (mm)
b_f	= Lebar pelat sayap (mm)
bw	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
C_b	= Koefisien pengali momen tekuk torsi lateral
Cc'	= Gaya pada tulangan tekan
C_d	= Faktor pembesaran defleksi
C_s	= koefisien respons gempa
Cs'	= Gaya tekan pada beton
C_t	= Koefisien nilai parameter perioda pendekatan
C_u	= Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung
d	= Tinggi efektif balok maupun kolom
D	= Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati

d_i	= Tebal suatu lapisan tanah atau batuan di dalam lapisan 30 m paling atas
E_c	= Modulus elastisitas beton (Mpa)
E	= Modulus elastisitas baja (Mpa)
I	= Momen inersia (mm^4)
I_e	= Faktor keutamaan gempa
I_b	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok
I_p	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat
F_a	= Koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik)
f_c'	= Kuat tekan beton yang disyaratkan (Mpa)
f_L	= Tegangan leleh dikurangi tegangan sisa (Mpa)
f_y	= Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non prategang (MPa)
f_y	= Tegangan leleh (Mpa)
F_v	= Koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik)
f_{vy}	= Kuat leleh tulangan torsi longitudinal (MPa)
f_{ys}	= Kuat leleh tulangan sengkang torsi (Mpa)
f_r	= Tegangan sisa (Mpa)
f_s	= Faktor aman yang disarankan Reese dan O'Neil (1989)
f_u	= Tegangan tarik putus pelat (Mpa)
f_{uw}	= Tegangan normal dan tegangan gesek akibat beban terfaktor yang ditentukan dengan analisis elastis (Mpa)
h	= Tinggi total dari penampang
h	= Tinggi bersih balok pelat berdinding penuh, (mm)
h_n	= Bentang bersih kolom
h_n	= Ketinggian struktur, dalam (m)
L_n	= Bentang bersih balok
L	= Panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan (mm)
L_p	= Panjang bentang maksimum untuk balok yang mampu menerima momen plastis (mm)
L_r	= Panjang bentang minimum untuk balok yang

- kekuatannya mulai ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral (mm)
- m = Jumlah bidang geser
- M_{cr} = Momen kritis terhadap tekuk torsi lateral (Nmm)
- M_u = Momen terfaktor pada penampang (Nmm)
- M_u = Momen lentur perlu (Nmm)
- M_{nb} = Kekuatan momen nominal persatuann jarak sepanjang suatu garis leleh
- M_{nc} = Kekuatan momen nominal untuk balok yang tak mempunyai tulangan tekan (Nmm)
- M_n = Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (Nmm)
- M_n = Kuat lentur nominal balok (Nmm)
- M_{nl} = Momen kapasitas balok penampang kiri (Nmm)
- M_{nr} = Momen kapasitas balok penampang kanan (Nmm)
- M_{nt} = Momen kapasitas balok penampang atas (Nmm)
- M_p = Momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh(Nmm)
- M_r = Momen batas tekuk (Nmm)
- M_1 = Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen tekan bernilai positif bila komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal, negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda (Nmm)
- M_2 = Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen tekan, selalu bernilai positif (Nmm)
- M_{1ns} = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (oredpertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negative bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)

- M_{2ns} = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastic konvensional (Nmm)
- M_{1s} = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (order pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negative bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- M_{2s} = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisisis rangka elastis konvensional (Nmm)
- n = Banyak tulangan yang dibutuhkan
- \bar{N} = tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas
- \bar{N}_{ch} = tahanan penetrasi standar rata-rata tanah non kohesif dalam lapisan 30 m paling atas
- N_u = Beban aksial terfaktor
- P_{cp} = Keliling luar penampang beton (mm)
- P_b = Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (N)
- P_c = Beban kritis (N)
- P_{CP} = Keliling penampang beton (mm)
- Ph = Keliling dari garis as tulangan sengkang torsi
- P_n = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (N)
- P_0 = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas nol (N)
- P_u = Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N)
- R = Koefisien modifikasi respons
- r_1, r_2 = faktor modifikasi tegangan untuk memperhitungkan ada atau tidak adanya ulir baut pada bidang geser
- R_{sx} = Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa x

R_{sy}	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa Y
R_u	= beban terfaktor atau kuat perlu
r_y	= Jari-jari girasi terhadap sumbu lemah (mm)
S	= Spasi tulangan geser atau torsi kearah yang diberikan (N)
S_{DS}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen
S_{D1}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_{MS}	= Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas
S_{M1}	= Percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_s	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen
\bar{s}_u	= Kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas
S_1	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen
t	= Tebal penampang (mm)
T	= Periode fundamental bangunan.
T_a	= Periode fundamental pendekatan
T_c	= Periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur.
t_i	= Tebal lapisan tanah ke-i
T_n	= Kuat momen torsi nominal (Nmm)
T_u	= Momen torsi terfaktor pada penampang (Nmm)
t_w	= tebal pelat badan (mm)
t_f	= tebal pelat sayap (mm)
U	= Faktor reduksi
V_c	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
V_n	= Kuat geser nominal baut (N)
V_s	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)

V_u	= Gaya geser terfaktor pada penampang (N)
\bar{v}_s	= Total gaya (geser) lateral seismik rencana elemen elemen di atas sistem isolasi
x	= Koefisien nilai parameter perioda pendekatan
X_1	= Koefisien untuk perhitungan momen tekuk torsi lateral (Mpa)
X_2	= Koefisien untuk perhitungan momen tekuk torsi lateral $(1/\text{MPa})^2$
α	= Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi
α_m	= Nilai rata-rata α untuk semua balok tepi dari suatu panel
β	= Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
β_d	= Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum
ρ	= Rasio tulangan tarik
ρ'	= Rasio tulangan tekan
ρ_b	= Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang
ρ_{\max}	= Rasio tulangan tarik maksimum
ρ_{\min}	= Rasio tulangan tarik minimum
ϕ	= Faktor reduksi kekuatan
ϕ_b	= Faktor reduksi kuat lentur
ϕ_f	= Faktor reduksi kekuatan saat fraktur
ϕR_n	= kuat rencana
ε	= Regangan
ε_c	= Regangan dalam beton
λ_d	= Panjang penyaluran
λ_{db}	= Panjang penyaluran dasar
λ_{dh}	= Panjang penyaluran kait standar tarik diukur dari penampang kritis hingga ujung luar kait (bagian panjang penyaluran yang lurus antara penampang kritis dan titik awal kait (titik garis singgung) ditambah jari-jari dan satu diameter tulangan).

- λ_{hb} = Panjang penyaluran dasar dari kait standar tarik
 λ_n = Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang-bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif
 λ = Kelangsingan
 λ_p = Batas maksimum untuk penampang kompak
 λ_r = Batas maksimum untuk penampang tak-kompak
 λ_u = Panjang bebas (tekuk) pada kolom
 δ_{ns} = Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan
 δ_s = Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi
 μ = Faktor daktilitas struktur gedung, rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadi pelelehan pertama
 ψ = Faktor kekangan ujung – ujung kolom
 Ω_0 = Faktor kuat lebih system

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan gedung merupakan suatu konstruksi yang memiliki konsep sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai sarana untuk beraktivitas yang mengakibatkan pembangunan di Indonesia semakin lama akan meningkat tahun demi tahun, oleh karena itu diperlukannya bangunan yang mampu bertahan kokoh dan mampu meminimalisir angka kerusakan akibat faktor-faktor penyebabnya. Bangunan gedung diharapkan dapat menahan beban konstruksi agar fungsi bangunan itu sendiri layak untuk digunakan. Dalam menentukan pola bangunan dibutuhkan struktur bangunan yang kuat dan mampu diterapkan sebaik mungkin karena hal ini menjamin kekokohan dan umur sebuah bangunan. Dengan konstruksi bangunan yang kokoh maka akan menjamin umur sebuah bangunan tersebut lama dan yang terpenting adalah aman untuk digunakan. Gedung Rektorat UNESA adalah salah satu gedung di kota Surabaya yang dibangun sebagai salah satu tempat untuk memperlancar kegiatan akademik dan perkuliahan secara efektif dan nyaman. Dengan demikian gedung rektorat ini perlu direncanakan dengan baik sesuai dengan standar tata cara bangunan gedung.

Dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan ini akan membahas mengenai Modifikasi Struktur Gedung Rektorat Universitas Negeri Surabaya Lidah dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah yang bertujuan agar gedung tersebut dapat menahan keruntuhan apabila menerima gaya gempa, perencanaan bangunan ini lebih mengutamakan kekokohan struktur bangunan khususnya pada bagian kolom sehingga jika terjadi gempa struktur kolom masih dapat menahan gaya gempa yang terjadi pada bangunan.

Gedung Rektorat UNESA Lidah tersusun dari 10 lantai sesuai dengan bentuk fisik yang dimiliki bangunan tersebut, akan tetapi untuk keperluan Tugas Akhir Terapan di program D3 Teknik Sipil, bangunan direncanakan ulang menjadi 4 lantai. Sedangkan pada bangunan struktur atap akan didesign sebagai pelat beton.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam perencanaan modifikasi struktur gedung rektorat universitas negeri surabaya lidah dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah” adalah :

1. Bagaimana cara merencanakan dimensi struktur gedung (*preliminary design*)
2. Bagaimana merencanakan struktur pada bangunan dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah
3. Bagaimana merencanakan pondasi sesuai dengan jenis tanah pada bangunan

1.3 Batasan Masalah

Batasan yang akan dibahas pada Tugas Akhir Terapan dengan judul “Modifikasi Struktur Gedung Rektorat Universitas Negeri Surabaya Lidah Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah” adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan ini hanya membahas struktural dan tidak membahas manajemen konstruksi.
2. Analisis beban gempa menggunakan respons spektrum.
3. Hanya Meninjau 2 portal pada struktur bangunan (portal memanjang dan portal melintang)
4. Perencanaan ini tidak membahas tentang analisa biaya dan pelaksanaan di lapangan

5. Perencanaan ini tidak membahas tentang sistem utilitas bangunan, pembuangan saluran air bersih, instalasi AC, finishing dan lain-lain.

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud disusunnya proposal tugas akhir agar dapat memberikan manfaat untuk diri sendiri agar lebih memahami teori yang telah diperoleh selama perkuliahan mengenai perencanaan bangunan gedung dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Tujuan dari penyusunan proposal tugas akhir “Modifikasi Struktur Gedung Rektorat Universitas Negeri Surabaya Lidah Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah” ini adalah dapat merencanakan gedung 4 lantai dengan ketentuan pada SNI dan dapat mengaplikasikan ke dalam gambar teknik sesuai dengan bangunan yang akan direncanakan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penyusunan Tugas Akhir Terapan antara lain :

1. Mendapatkan desain struktur gedung dengan menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah dan mampu menggambarkan ke dalam gambar teknik
2. Dapat mengetahui cara perhitungan struktur gedung sesuai pada peraturan pada SNI.

1.6 Data Perencanaan

Sebagai dasar dalam merencanakan struktur gedung Perkantoran Rektorat UNESA ini diperlukan data-data perencanaan.

Dari data-data perencanaan tersebut kemudian dilakukan perhitungan-perhitungan. Data-data perencanaan yang diperlukan akan diuraikan berikut ini :

- Data Umum Bangunan
 - Nama Gedung : Perkantoran Rektorat UNESA
 - Lokasi : Jl. Lidah Kulon Surabaya
 - Luas Bangunan : $\pm 1780 \text{ m}^2$
 - Tinggi Bangunan : 16 m
- Data Bahan yang digunakan pada Gedung Rektorat UNESA adalah sebagai berikut:
 - Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
 - Mutu Tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
 - Mutu Baja geser (f_{ys}) : 240 Mpa

BAB II

DASAR TEORI PERENCANAAN

2.1 Peraturan Yang Digunakan

Perencanaan gedung ini menggunakan acuan standar sebagai berikut :

1. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971
2. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)
3. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847: 2013)
4. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)
5. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983
6. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)
7. RSNI T-03-2005

2.2 Pembebanan

Berdasarkan peraturan-peraturan diatas, struktur sebuah gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban-beban berikut:

2.2.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati yang diperhitungkan dalam struktur gedung bertingkat ini merupakan berat sendiri elemen struktur bangunan yang memiliki fungsi struktural menahan beban dari berat sendiri elemen-elemen tersebut diantaranya sebagai berikut :

- Beban mati pada pelat lantai, terdiri dari :
 - Berat sendiri pelat
 - Beban pasangan keramik
 - Beban spesi
 - Beban plafond dan rangka
- Beban mati pada balok, terdiri dari :

- Berat sendiri balok
- Beban mati pelat atap
- Berat dinding setengah bata
- Beban mati pada atap, terdiri dari :
 - Berat sendiri pelat
 - Beban plafond dan rangka

2.2.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban Hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian dan penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai tersebut.

- Beban hidup untuk atap Perkantoran (pekerja)

$$= 100 \text{ kg/m}^2$$
- Beban hidup untuk lantai Perkantoran

$$= 250 \text{ kg/m}^2$$

2.2.3 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Dalam perencanaan beban gempa pada gedung Perkantoran Rektorat UNESA dihitung dengan menggunakan respon spektrum. Dengan mengacu pada kombinasi pembebanan SNI 1726:2012.

Berikut ini adalah urutan cara menghitung beban gempa menggunakan respon spektrum:

1. Untuk Perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata-rata (N_{SPT}) sesuai SNI 1726-2012

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{ni}} \quad (2.2.3.1)$$

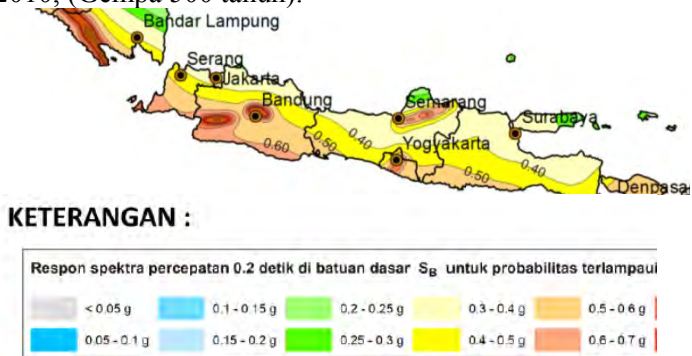
2. Dari nilai \bar{N}_{SPT} dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel 2.2.1 berikut sesuai SNI 1726-2012.

Tabel 2.2 1 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

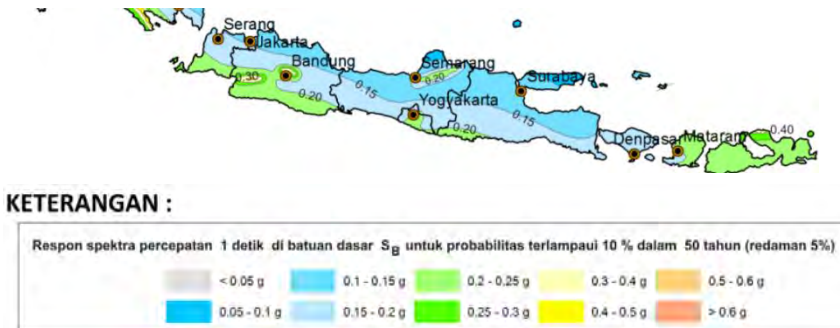
Sumber : SNI 1726 - 2012 Tabel 3

3. Setelah mengetahui Kelas Situs Tanah, kemudian mencari nilai S_s pada gambar 2.2.1 dan S_1 pada gambar 2.2.2 berdasarkan PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010, (Gempa 500 tahun).



Gambar 2.2 1 Peta respon spektra percepatan 0.2 detik(S_s)

Sumber : Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 hal. 8



Gambar 2.2 2 Peta respon spektra percepatan 1.0 detik (S_1)

Sumber : Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 hal. 9

4. Menentukan Koefisien Situs Periode 0,2 detik (F_a) dan Koefisien Situs Periode 1 detik (F_v) berdasarkan tabel 2.2.2 dan tabel 2.2.3 berikut sesuai SNI 1726-2012.

Tabel 2.2 2 Koefisien Situs (F_a)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Sumber : SNI 1726 - 2012 Tabel 4

Tabel 2.2 3 Koefisien Situs (Fv)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, T = 1 detik, S_I				
	$S_I \leq 0,25$	$S_I = 0,5$	$S_I = 0,75$	$S_I = 1,0$	$S_I \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber : SNI 1726 - 2012 Tabel 5

5. Menentukan Parameter spektrum respons percepatan pada periode 0,2 detik (S_{MS}) sesuai SNI 1726-2012.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.2.3.2)$$

6. Menentukan Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}) sesuai SNI 1726-2012.

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.2.3.3)$$

7. Parameter percepatan spektral desain untuk periode 0,2 detik sesuai SNI 1726-2012.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (2.2.3.4)$$

8. Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik sesuai SNI 1726-2012.

$$9. S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (2.2.3.5)$$

10. Menentukan Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa (I) struktur bangunan sesuai SNI 1726-2012 bisa dilihat pada tabel 2.2.4 dan 2.2.5 dibawa ini :

Tabel 2.2 4 Kategori Risiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan ; rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Sumber : SNI 1726 - 2012 Tabel 1

Tabel 2.2 5Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (<i>I_e</i>)
II	1,0

Sumber : SNI 1726 - 2012 Tabel 2

11. Kemudian mencari KDS untuk lokasi bangunan tersebut sesuai SNI 1726-2012 pada tabel 2.2.6 dan tabel 2.2.7 dibawah ini :

Tabel 2.2 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai <i>SDS</i>	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS \leq 0,33$	B	C
$0,33 \leq SDS \leq 0,50$	C	D
$0,50 \leq SDS$	D	D

Sumber : SNI 1726 - 2012 Tabel 6

Tabel 2.2 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai SDI	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDI < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDI \leq 0,133$	B	C
$0,133 \leq SDI \leq 0,20$	C	D
$0,20 \leq SDI$	D	D

Sumber : SNI 1726 - 2012 Tabel 7

12. Kemudian menentukan besar periode fundamental struktur (T) pada suatu bangunan sesuai SNI 1726-2012 pasal 7.8.2.

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (2.2.3.6)$$

h_n = Tinggi bangunan (m)

$C_t = 0,0466$

$x = 0,9$

13. Hitung koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u)

Tabel 2.2 8 koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u)

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726 - 2012 Tabel 14

14. Cek nilai (T_c) periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisa struktur

15. Periode fundamental struktur yang digunakan :

$$\text{Jika } T_c > C_u \cdot T_a \rightarrow T = C_u \cdot T_a \quad (2.2.3.7)$$

$$\text{Jika } T_a < T_c < C_u \cdot T_a \rightarrow T = T_c \quad (2.2.3.8)$$

$$\text{Jika } T_c < T_a \rightarrow T = T_a \quad (2.2.3.9)$$

16. Menentukan nilai Koefisien Modifikasi Respon (R) sesuai SNI 1726-2012 diuraikan pada tabel 2.2.9 dibawah ini :

Tabel 2.2 9 Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon, R	Faktor Kuat-lebih sistem, Ω_0	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726 - 2012 Tabel 9

17. Menghitung koefisien respons seismik

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (2.2.3.10)$$

18. Menentukan T_0 dan T_s

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.2.3.11)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.2.3.12)$$

19. Membuat Respon Spektrum Gempa sesuai SNI 1726-2012 Pasal 6.4.1.

- Untuk perioda lebih kecil T_0 , spektrum respons percepatan desain :

$$a = \left(0, \quad 0, \quad \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.2.3.13)$$

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain SNI 1726-2012 Pasal 6.4.2:

$$S_a = S_{DS} \quad (2.2.3.14)$$

- Untuk perioda lebih besar T_s , spektrum respons percepatan desain:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.2.3.15)$$

20. Input respon spektrum ke dalam SAP 2000.

2.2.4 Beban Angin

Beban Angin daerah jauh dari tepi laut diambil minimum 25 kg/m^2 , sedangkan di laut dan tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai diambil minimum 40 kg/m^2 terdapat dalam PPIUG 1983.

2.3 Perencanaan Pelat

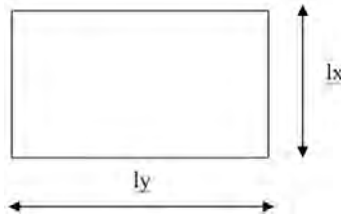
2.3.1 Perencanaan tebal pelat

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai

kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja, sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.1 pada kontrol defleksi.

Untuk merencanakan pelat didasarkan pada:

- Perencanaan pelat satu arah (*one way slab*)
Pelat satu arah terjadi apabila $\frac{L_y}{L_x} > 2$, dimana L_x = bentang pendek, dan L_y = bentang panjang.



Gambar 2.3 1Bentang Pelat

- Pelat dua arah terjadi apabila $\frac{L_y}{L_x} < 2$, dimana L_x = bentang pendek, dan L_y = bentang panjang. Tebal pelat minimum dengan balok yang menghubungkan dengan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi pasal 9.5.3.3 dengan ketentuan sebagai berikut:
 - Untuk $\alpha m \leq 0,2$ Pakai persyaratan untuk pelat tanpa balok interior, pasal 9.5.3.2
 - Untuk $0,2 \leq \alpha m < 2,0$ tidak boleh < persamaan (2.3.1.1), tetapi tidak boleh kurang dari 125mm
 - Untuk $\alpha m > 2,0$ tidak boleh < persamaan (2.3.1.2) dan tidak boleh < 90mm

$$h = \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha m - 0,2)} \quad (2.3.1.1)$$

$$h = \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (2.3.1.2)$$

dimana :

h = tebal pelat

α_m = nilai α rata-rata untuk semua balok tepi dari suatu panel

β = rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah memendek pelat

$$\left(\beta = \frac{L_n}{S_n}\right) \quad (2.3.1.3)$$

L_n = bentang bersih arah memanjang pelat

S_n = bentang bersih arah pendek pelat

- Lebar efektif sayap (b_e) untuk balok L (diambil yang terkecil)

$$b_e = b_w + h_b \leq b_w + 4h_f \quad (2.3.1.4)$$

- Lebar efektif sayap (b_e) untuk balok T (diambil yang terkecil)

$$b_e = b_w + 2h_b \leq b_w + 8h_f \quad (2.3.1.5)$$

Lebar efektif sayap untuk perencanaan pelat ini sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 13.2.4.

- Faktor modifikasi(k) momen inersia penampang bersayap bisa dinyatakan sebagai momen inersia penampang segi empat yang di modifikasikan berdasarkan buku (*Wang, C. Salmon*)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h} + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right] }{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} \quad (2.3.1.6)$$

dimana :

h = tinggi total balok

t = tebal total pelat

b_e = lebar efektif sayap

b_w = lebar badan balok

2.3.2 Analisa struktur pelat

Rasio kekakuan balok terhadap pelat harus dihitung sesuai persamaan 2.3.2.1 sesuai SNI 2847:2013 Pasal 13.3.6

$$= \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cb} \cdot I_p} > 1 \quad (2.3.2.1)$$

Dimana:

Ecb = modulus elastisitas balok beton

Ecp = modulus elastisitas pelat beton

Lb = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok.

lp = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat.

2.3.3 Penulangan Pelat

1. Rasio penulangan pelat

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.3.3.1)$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \quad (2.3.3.2)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{balance} \quad (2.3.3.3)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} \quad (2.3.3.4)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x Rn}{f_y}} \right) \quad (2.3.3.5)$$

$$As = \rho x b x d \quad (2.3.3.6)$$

2. Kontrol jarak spasi tulangan

Sesuai dengan SNI 2847:2013, spasi tulangan pada penampang kritis harus memenuhi persamaan 2.3.3.7 (SNI 2847:2013 pasal 13.3.2)

$$S_{\max} \leq 2 \times h \quad (2.3.3.7)$$

3. Kontrol tulangan susut dan suhu SNI 2847:2013, Pasal 7.12.2.1 yaitu tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014.

4. Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu SNI 2847:2013, Pasal 7.12.2.2 yaitu tulangan susut dan

suhu harus dipasang dengan spasi tidak lebih jauh dari lima kali tebal slab, atau tidak lebih jauh dari 450.

$$S_{max} \leq 5 \times h \text{ atau } \leq 450 \text{ mm} \quad (2.3.3.8)$$

2.4 Perencanaan Tangga

2.4.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Merencanakan dimensi anak tangga dan bordes, merencanakan dimensi injakan dan tanjakan dengan persyaratan :

- Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i} \quad (2.4.1.1)$$

- Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ \quad (2.4.1.2)$$

- Syarat lebar injakan dan tinggi tanjakan

$$60 \text{ cm} \leq 2t+i \leq 65 \text{ cm} \quad (2.4.1.3)$$

- Jumlah tanjakan

$$n_t = \frac{\text{Tinggi pelat anak tangga}}{t} \quad (2.4.1.4)$$

- Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1 \quad (2.4.1.5)$$

Keterangan:

t = tanjakan $\leq 25 \text{ cm}$

i = injakan dengan $25 \text{ cm} \leq i \leq 0 \text{ cm}$

maksimal sudut tangga 40°

2.4.2 Pembebanan Tangga

- Pembebanan pada anak tangga

- Beban mati tangga menurut PPIUGG 1983

- ✓ Berat Sendiri
- ✓ Spesi
- ✓ Berat hand railing
- ✓ Keramik

- Beban Hidup tangga menurut PPIUG 1983 adalah 300kg/m^2
- Pembebanan pada bordes
 - Beban mati plat bordes menurut PPIUG 1983
 - ✓ Berat sendiri
 - ✓ Spesi
 - ✓ Keramik
 - Beban Hidup plat bordes menurut PPIUG 1983

2.4.3 Penulangan Struktur Tangga

Penulangan pada plat anak tangga dan pelat bordes menggunakan perhitungan sesuai prinsip perencanaan pelat.

2.5 Perencanaan Balok

2.5.1 Perhitungan dimensi balok

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/16$.
- Komponen struktur balok kantilever sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/8$
- Untuk kuat leleh lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.
Perencanaan dimensi balok sesuai dengan SNI 2847:2013 pada tabel 9.5(a).

2.5.2 Syarat pelindung beton

- Pelindung beton untuk tulangan sesuai dengan SNI 2847:2013 pada pasal 7.7.1

2.5.3 Persyaratan spasi tulangan

- Jarak bersih antara tulangan sejajar dalam lapis yang sama, tidak boleh kurang dari db tetapi tidak kurang dari 25 mm. Sesuai dengan SNI 2847:2013 pada pasal 7.6

- Sesuai dengan SNI 2847:2013 pada pasal 3.3.2 Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi:
 - 1/5 jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan
 - 1/3 ketebalan pelat lantai
 - 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan atau kawat, bundel tulangan, atau tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.
- Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pada pasal 9.6.2, Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapisan atas harus diletakkan tepat diatas tulangan dibawahnya dengan spasi bersih antarlapisan tidak boleh kurang dari 25mm.
- Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pada pasal 9.6.3, Pada komponen struktur tekan yang diberi tulangan spiral atau sengkang pengikat, jarak bersih antar tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $1,5d_b$ ataupun 40mm.

2.5.4 Perhitungan Momen dan Gaya Dalam pada Balok

Momen-momen balok akibat beban terbagi rata q per-satuan panjang balok, sesuai dengan PBBI 1971 pasal 13.2.3 ditetapkan sebagai berikut:

Momen = koefisien $\times q l^2$

2.5.5 Perhitungan Tulangan Torsi

Langkah perhitungan:

1. Tentukan torsi pada balok dari analisis struktur (dari hasil output SAP 2000)
2. Hitung A_{cp} , P_{cp} , A_{oh} , dan Ph
3. Hitung momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} \quad (2.5.5.1)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.3.5)

4. Cek pengaruh tulangan puntir:

$$T_u = \frac{\phi \sqrt{f_c} (A_{cp}^2)}{12 (P_{cp})} \quad (2.5.5.2)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.1.a)

5. Cek dimensi penampang:

$$\sqrt{\left(\frac{Vu^2}{bw \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot ph}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)} \leq \Phi \left(\frac{Vc}{bw \cdot d} + \frac{2\sqrt{fc}}{3}\right) \quad (2.5.5.3)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.3.1.a)

6. Hitung tulangan puntir untuk geser:

$$Tn = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot Fyv}{s} \cot \theta \quad (2.5.5.4)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.3.6)

7. Hitung tulangan puntir untuk lentur:

$$A_l = \frac{A_t}{s} ph \cdot \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}}\right) \cot^2 \theta \quad (2.5.5.5)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.3.7)

2.5.6 Perhitungan penulangan lentur balok

Langkah perhitungan:

1. Tentukan nilai momen tumpuan dan lapangan pada balok (dari hasil output SAP 2000)
2. Rencanakan f_y , f_c' , d , d' , dan d''
3. Hitung M_n dimana $\phi = 0,8$ sesuai pada SNI 03-2847-2013

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}, \quad (2.5.6.1)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.5.6.2)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.5.1)

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) \quad (2.5.6.3)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 10.4.3)

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \quad (2.5.6.4)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 10.4.3)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \quad (2.5.6.5)$$

(Wang, C. Salmon hal 55 pers. 3.8.4. a)

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad (2.5.6.6)$$

X coba-coba dimana $x < 0,75 b$

$d = bw - \text{decking} - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2} \text{Ø tul. Utama}$

$d' = \text{decking} + \text{Øsengkang} + \frac{1}{2} \text{Ø tul. Utama}$

$$Cc = Ti = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \quad (2.5.6.7)$$

$$A_{sc} = Ti / f_y \quad (2.5.6.8)$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = M_u / \phi - M_{nc} \quad (2.5.6.9)$$

4. Periksa kebutuhan tulang tekan :

a. Jika $(M_n - M_{nc}) > 0$, maka perlu tul. rangkap:

$$C_s = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d''} \quad (2.5.6.10)$$

$$f_s' = \left(\frac{x - d''}{x} \right) \cdot 600 \quad (2.5.6.11)$$

jika $f_s' > f_y$, maka tulangan tekan leleh

$$f_s' = f_y \quad (2.5.6.12)$$

jika $f_s' < f_y$, maka tulangan tekan tidak leleh,

maka:

$$A_{ss} = T_2 / f_y \quad (2.5.6.13)$$

$$A_s' = \frac{C_s}{f_{s'} - 0,85 f_c} \quad (2.5.6.14)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 20.7)

Tulangan perlu:

$$A_s' = A_{sc} + A_{ss} \quad (2.5.6.15)$$

$$A_s = A_s' \quad (2.5.6.16)$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 20.7.4.a)

b. Jika $(M_n - M_{nc}) < 0$, maka tidak perlu tulangan rangkap.

$$m = \frac{f_y}{0,85 x f_c'} \quad (2.5.6.17)$$

(Wang, C. Salmon hal 55 pers. 3.8.4. a)

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right) \quad (2.5.6.18)$$

(Wang, C. Salmon hal 55 pers. 3.8.4. a)

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

Jika $\rho > \rho_{maks}$, maka terdapat 2 kemungkinan:

- Dimensi balok (h) harus diperbesar
- Dipakai tulangan ganda(rangkap)

Jika $\rho > \rho_{min}$, maka ρ perlu dinaikan 30%

Sehingga:

$$\rho_{pakai} = 1,3 \rho \text{ perlu}$$

$$A_s = \rho \text{ perlu} \cdot b \cdot d$$

5. Kontrol jarak spasi tulangan :

$$s = \frac{bw - (2x \text{ decking}) - (2x \phi \text{ tul.sengakang}) - (n x \phi \text{ tul.utama})}{n-1}$$

Dimana $s \geq 25\text{mm}$

(SNI 03-2847-2002 pasal 9.6.2)

6. Kontrol kekuatan momen penampang :

$$\phi / Mn \geq Mu$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 24.5.1)

2.5.7 Perhitungan tulangan geser pada balok



Gambar 2.5 1 Desain Tulangan Balok

1. Menghitung Mnl

$$Mnl = A_s \times f_y \times \beta \times 0.9 \times h$$

2. Menghitung Mnr

$$Mnr = A_s' \times f_y \times \beta \times 0.9 \times h$$

3. Menghitung W_u

$$W_u = 1.2 D + 1.0 L$$

(W_u diperoleh dari output SAP)

4. Menghitung V_u berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.3.2

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u(\text{Output SAP})$$

Dengan:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

5. Menghitung V_c

- Untuk struktur yang dikenai geser dan lentur saja berdasarkan SNI 03-2847 2013 pasal 11.2.1.1

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} \text{ bw } d$$

- Untuk struktur yang dikenai tekan aksial berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.2.1

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} \text{ bw } d$$

- Untuk struktur yang dikenai tarik aksial , $V_c = 0$

6. Menghitung V_s

- Spasi tulangan geser berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.5.1

$$\leq \frac{d}{2}$$

Dan untuk struktur non-prategang

$$\leq 0,75 h \text{ atau } \leq 00 \text{ m m}$$

- Tulangan geser minimum berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6

$$A_v \text{ min} = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{bw s}{f_{yt}}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\frac{0,35 bw s}{f_{yt}}$$

- Desain tulangan geser berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$$

dan tidak boleh lebih besar dari :

$$0,66 \sqrt{f_c'} \text{ bw } d$$

7. Cek kondisi penulangan geser balok berdasarkan buku Wang,C. Salmon Jilid 1 hal 10 sebagai berikut :

- Kondisi 1 → (tidak perlu tulangan geser)

$$V_u \leq 0,5 \phi V_c$$

- Kondisi 2 → (tulangan geser minimum)

$$0,5 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$$

$$A_v(\text{min}) = \frac{bw .s}{3.f_y}$$

$$V_{s(\min)} = \frac{1}{3} \cdot b w d$$

$$\leq \frac{d}{2} \quad \text{dan} \quad m \text{ aks} \leq 00 \text{ m m}$$

- c) Kondisi 3 \rightarrow (tulangan geser minimum)
 $\phi V_c < V_u \leq \phi(V_c + V_{s \min})$

$$A_v(\min) = \frac{b w \cdot s}{3 \cdot f_y}$$

$$V_{s(\min)} = \frac{1}{3} \cdot b w d$$

$$\leq \frac{d}{2} \quad \text{dan} \quad m \text{ aks} \leq 00 \text{ m m}$$

- d) Kondisi 4 \rightarrow (perlu tulangan geser)

$$\phi(V_c + V_{s \min}) < V_u \leq \phi(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b w d)$$

$$\phi V_{s \text{ perlu}} = V_u - \phi V_c ; \quad V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

$$\leq \frac{d}{2} \quad \text{dan} \quad m \text{ aks} \leq 00 \text{ m m}$$

- e) Kondisi 5 \rightarrow (perlu tulangan geser)

$$\phi(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b w d) < V_u \leq \phi(V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b w d)$$

$$\phi V_{s \text{ perlu}} = V_u - \phi V_c ; \quad V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

$$\leq \frac{d}{4} \quad \text{dan} \quad m \text{ aks} \leq 300 \text{ mm}$$

- f) Kondisi 6 \rightarrow (perbesar penampang)

$$V_s > \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b w d$$

2.5.8 Ketentuan-ketentuan perhitungan balok sisten rangka pemikul momen menengah

- a. Spasi tulangan sengkang maksimum pada balok, berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.2, diambil yang terkecil dari :
 - $D/4$
 - Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - 24 kali diameter tulangan sengkang
 - 300 mm

- b. Senggang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok.

(SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.3)

2.5.9 Panjang Penyaluran Tulangan

- a. Penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik:

- Panjang penyaluran (l_d), dinyatakan dalam diameter d_b .
Nilai l_d tidak boleh kurang dari 300 mm.

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.2.1)

- Untuk batang ulir atau kawat ulir, l_d/d_b harus diambil sesuai tabel 11

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.2.2)

- b. Penyaluran batang ulir dalam kondisi tekan:

- Panjang penyaluran (l_d) dalam mm, untuk batang ulir yang berada dalam kondisi tekan harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar (l_{db}). Nilai l_{db} tidak boleh kurang dari 200mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.3.1)

- Panjang penyaluran l_{db} harus diambil sebesar:

$$\frac{d_b \cdot f_y}{4 \cdot \sqrt{f_c'}} \text{ dan tidak boleh kurang dari } 0,04 d_b f_y$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.3.2)

2.6 Perencanaan Kolom

2.6.1 Perhitungan Dimensi Kolom

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} \geq \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}} \quad (2.6.1.1)$$

Dimana:

I_{kolom} = inersia kolom ($1/12 \times b \times h^3$)

L_{kolom} = tinggi bersih kolom

I_{balok} = inersia balok ($1/12 \times b \times h^3$)

L_{balok} = tinggi bersih balok

2.6.2 Perencanaan tulangan kolom

- Syarat gaya aksial pada kolom

Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak kurang dari $A_g \cdot f_c' / 10$ dan SNI 03-2847-2002 pasal 23(5) harus dipenuhi kecuali bila dipasang tulangan spiral.

➤ Perhitungan Tulangan Kolom

- Bedakan kolom dengan pengaku (braced frame) atau kolom tanpa pengaku (unbraced frame)
- Hitung faktor kekakuan (EI) kolom nilai EI bisa diambil dari:

$$EI = \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta d} \quad (2.6.2.1)$$

Dimana:

E_c = Modulus elastisitas beton = $4700 \sqrt{f_c'} \text{ Mpa}$

I_g = Momen Inersia penampang kolom $\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$
mm⁴

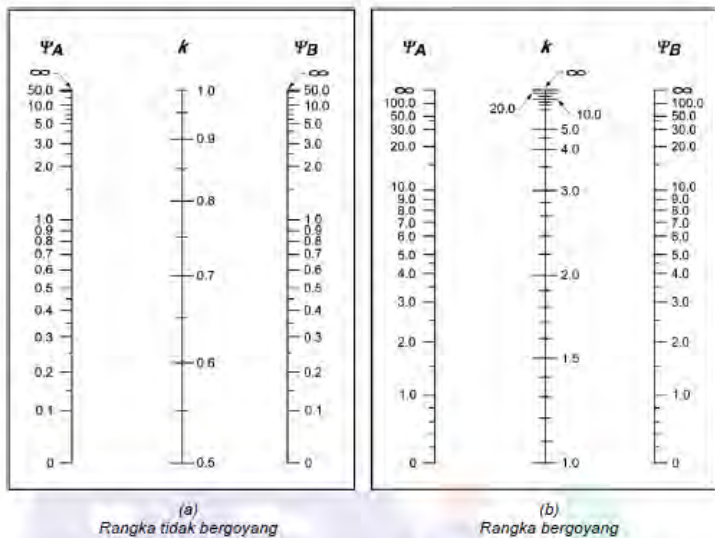
βd = Rasio beban mati aksial terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.12.3)

- Hitung faktor kekangan ujung-ujung kolom (ψ_b)
Faktor kekangan ujung dalam hal ini didefinisikan sebagai rasio antara sigma kekakuan kekakuan dibagi panjang kolom-kolom dengan sigma kekakuan dibagi panjang balok-balok pada simpul tinjauan.

$$\Psi = \frac{\sum \frac{EI}{L} \text{ kolom-kolom}}{\sum \frac{EI}{L} \text{ balok-balok}} \quad (2.6.2.2)$$

- Hitung faktor panjang efektif (k)
Dalam penerapannya dipergunakan nomogram seperti tampak pada gambar.



Gambar 2.6 1 Faktor Panjang Efektif (k)

Catatan :

Ψ = adalah rasio $\sum(EI/l_c)$ komponen struktur tekan terhadap $\sum(EI/l)$ komponen struktur lentur dalam suatu bidang di salah satu ujung komponen struktur tekan.

l = panjang bentang komponen truktur lentur yang diukur pusat ke pusat pertemuan (joint).

Ψ_A dan Ψ_B nilai-nilai Ψ pada kedua ujung kolom
(SNI 03-2847-2002 pasal 12.11.6)

- Kontrol Kelangsingan

Pada saat perencanaan elemen kolom perlu ditetapkan apakah kolom yang kita rencanakan tergolong kolom pendek atau kolom langsing. Begitu pula perlu kita definisikan apakah tergolong kolom dengan pengaku

(braced) ataukah kolom tanpa pengaku (unbraced), dengan itu perlu dilakukan kontrol sesuai dalam SNI-03-2847-2002, pasal 12.12 dan pasal 12.13. Dimana r

$= \sqrt{\frac{I}{A}}$. I adalah momen inersia penampang, k adalah faktor panjang efektif, $M1b$ merupakan momen terkecil pada ujung kolom. Sedangkan $M2b$ merupakan momen terbesar pada ujung kolom.
(SNI-03-2847-2002, pasal 12.12.3)

- Apabila ternyata kolom langsing, hitung P_c (beban kritis) kolom-kolom yang bersangkutan.

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot l_u)^2} \quad (2.6.2.3)$$

Dimana:

EI = Kekakuan

k = faktor panjang efektif

l_u = panjang bersih kolom

(SNI-03-2847-2002, pasal 12.12.3)

- Hitung Faktor C_m

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M1}{M2} \geq 0,4 \quad (2.6.2.4)$$

C_m = faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan diagram momen merata ekuivalen

$M1$ = momen ujung terfaktor 1

$M2$ = momen ujung terfaktor 2

(SNI-03-2847-2002, pasal 12.12.3.1)

- Hitung faktor pembesaran momen (δ_s dan δ_{ns})

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \cdot \sum P_c}} \geq 1 \quad (2.6.2.5)$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \cdot P_c}} \geq 1,0 \quad (2.6.2.6)$$

Dimana :

$$P_c = \text{Beban kritis} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot l_u)^2}$$

ΣP_u = Jumlah seluruh beban vertical terfaktor yang bekerja pada suatu tingkat

ΣP_c = Jumlah seluruh kapasitas tekan kolomkolom bergoyang pada suatu tingkat.

(SNI-03-2847-2002, pasal 12.13.4.3)

- Hitung $M_c = \delta_s \cdot M_2$
atau

$$M_1 = M_{1ns} \quad \delta_s \cdot M_{1s}, \quad (2.6.2.7)$$

$$M_2 = M_{2ns} \quad \delta_s \cdot M_{2s} \quad (2.6.2.8)$$

(SNI 03-2847-2002 Pasal 12.13.3)

- Analisis/Design penampang kolom langsing berdasarkan P_u dan M_c di atas.

2.6.2.1 Perhitungan Penulangan Lentur

Hitung :

➤ Tentukan Harga β

➤ Nilai M_{ox} dan M_{oy}

$$M_{ox} = M_{nx} + M_{ny} \left[\frac{h}{b} \right] \left[\frac{1-\beta}{\beta} \right] \quad (2.6.2.9)$$

$$\text{untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h}$$

$$M_{oy} = M_{ny} + M_{nx} \left[\frac{b}{h} \right] \left[\frac{1-\beta}{\beta} \right] \quad (2.6.2.10)$$

$$\text{untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h}$$

➤ Hitung $\frac{P_u}{A_g} \quad (2.6.2.11)$

➤ Hitung $\frac{\phi M_{ox}}{A_g \times h} \quad (2.6.2.12)$

➤ ρ_{perlu} didapat dari diagram interaksi

➤ $A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \quad (2.6.2.13)$

2.6.2.2 Perhitungan Penulangan Geser

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \quad (2.6.2.14)$$

2.6.3 Perhitungan Jarak Spasi Tulangan Pada Kolom

Syarat untuk menentukan jarak spasi maksimum tulangan pada kolom adalah sebagai berikut:

- Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :
 - $\leq 8 \times \emptyset$ tulangan longitudinal terkecil
 - $\leq 24 \times \emptyset$ sengkang ikat
 - Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur
 - $\leq 300\text{mm}$
- Panjang l_o tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini :
 - $1/6 \times$ tinggi bersih kolom
 - Dimensi terbesar penampang kolom
 - 500 mm
- Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 \times S_o$ dari muka hubungan balok-kolom. (S_o adalah spasi maksimum tulangan transversal)
- Spasi sengkang ikat pada sembarang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o$

(SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10)

2.7 Perencanaan Struktur Pondasi

Perencanaan struktur pondasi menggunakan pondasi tiang pancang. Data tanah yang digunakan adalah data sondir. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan pondasi dalam adalah sebagai berikut:

2.7.1 Perhitungan Daya Dukung Tanah

$$1. \quad Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.7.1.1)$$

$$= 40.N.A_p + (N_{av}.A_s)/5$$

2. Kekuatan tanah

$$Q \text{ ijin} = \frac{Q_u}{SF} \quad (2.7.1.2)$$

Dimana :

Q_u = daya dukung ultimate (ton)

Q_p = daya dukung ujung tiang

Q_s = daya dukung selimut tiang

N = nilai SPT pada ujung tiang

N_{av} = rata-rata nilai SPT sepanjang tiang

A_p = luas permukaan ujung tiang

A_s = luas selimut tiang

SF = 3

2.7.2 Perencanaan Tiang Pancang

1. Perhitungan jarak antara tiang pancang:

$$2,5 \leq \leq 3 \quad (2.7.2.1)$$

2. Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi poer:

$$1,5 \leq l \leq 2 \quad (2.7.2.2)$$

$$3. \text{ Efisiensi } \eta = 1 - \left[\frac{(n_1-1)n_2 + (n_2-1)n_1}{90n_1n_2} \right] \theta \quad (2.7.2.3)$$

Keterangan :

$\theta(\text{derajat}) = \tan^{-1} (D/S)$

n_1 = Jumlah baris tiang pada group tiang

n_2 = Jumlah kolom tiang pada group tiang

D = Diameter tiang

S = Spasi (jarak antar tiang)

$$4. Q_{ijin-total} = \eta \times Q_{ijin} \quad (2.7.2.4)$$

5. Gaya yang dipikul tiang pancang (untuk 1 tiang pancang)

$$P_{\text{sat}} TP = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{\Sigma y^2} \quad (2.7.2.5)$$

6. Kontrol tiang pancang

$$P_{max} \leq P_{ijin}$$

$$P_{min} \leq P_{ijin}$$

$$P_{max} \leq P_{\text{grup tiang}}$$

2.7.3 Perencanaan Pile Cap (poer)

Pile cap adalah struktur yang berfungsi untuk menyatukan kelompok tiang pancang dan menyalurkan beban dari kolom menuju kelompok tiang pancang. Adapun langkah dalam merencanakannya:

1. Penulangan Lentur Poer

- a. Rencanakan ketinggian (h) poer

- b. Tentukan momen yang terjadi :

$$M_u = (P \cdot x) - (1/2 \times q \times l^2) \quad (2.7.3.1)$$

- c. Hitung penulangan :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.7.3.2)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \quad (2.7.3.3)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} \quad (2.7.3.4)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (2.7.3.5)$$

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (2.7.3.6)$$

2. Penulangan Geser Poer

Untuk perencanaan poer, nilai V_c harus diambil sebagai terkecil persamaan-persamaan dari berikut :

$$\rho_{Vc} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{6} \quad (2.7.3.7)$$

$$\rho_{Vc} = \left(2 + \frac{a_s \times d}{b_o} \right) \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{12} \quad (2.7.3.8)$$

$$\rho_{Vc} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \quad (2.7.3.9)$$

➤ Cek kondisi perencanaan geser

a. $V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c$ (2.7.3.10)

(Tidak perlu tulangan geser)

b. $0,5 \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$ (2.7.3.11)

(perlu tulangan geser)

$$V_s \min = \frac{bw \cdot d}{3}$$

$$A_v \min = \frac{bw \cdot S}{3 f_y}$$

Spasi tulangan geser maksimum

$$S_{\max} \leq \frac{d}{2} \leq 60 \text{ cm}$$

c. $\phi \cdot V_c < V_u \leq (\phi \cdot V_c + \phi \cdot V_s \min)$ (2.7.3.12)

(perlu tulangan geser)

$$V_s \min = \frac{bw \cdot d}{3}$$

$$A_v \min = \frac{bw \cdot S}{3 f_y}$$

Spasi tulangan geser maksimum

$$S_{\max} \leq \frac{d}{2} \leq 60 \text{ cm}$$

d. $\phi(V_c + V_s \min) < V_u \leq \phi(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} bw d)$

(perlu tulangan geser)

$$\phi V_s \text{ perlu} = V_u - \phi V_c ; V_s = \frac{A_v f_y d}{S}$$

$$\leq \frac{d}{2} \quad \text{dan} \quad m \text{ aks} \leq 00 \text{ m m}$$

e. $\phi(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} bw d) < V_u \leq \phi(V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} bw d)$

$$\phi V_s \text{ perlu} = V_u - \phi V_c ; V_s = \frac{A_v f_y d}{S}$$

$$\leq \frac{d}{4} \quad \text{dan} \quad m \text{ aks} \leq 300 \text{ mm}$$

2.7.4 Panjang penyaluran tulangan kolom

1. Tulangan kondisi Tarik

$$\frac{\lambda d}{ds} = \frac{3 f_y \alpha \beta \lambda}{5 \sqrt{f_c'}} \geq 300 \text{ mm} \quad (2.7.4.1)$$

(SNI-03-2847-2002, pasal 14.2.2)

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times \lambda d \quad (2.7.4.2)$$

(SNI-03-2847-2002, pasal 14.2.5)

2. Tulangan kondisi tekan

$$\lambda_d = \frac{db \times fy}{4 \times \sqrt{fc'}} \geq 0,0 \times d_b \times fy \quad (2.7.4.3)$$

(SNI-03-2847-2002, pasal 14.3.2)

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times \lambda d \quad (2.7.4.4)$$

(SNI-03-2847-2002, pasal 14.2.5)

3. Tulangan berkait dalam kondisi Tarik

$$\lambda_{hb} = \frac{100 \times db}{\sqrt{fc'}} \quad (2.7.4.5)$$

(SNI-03-2847-2002, pasal 14.5.2)

(untuk batang dengan f_y sama dengan 400 MPa)

2.7.5 Kontrol geser pons poer.

1. Geser satu arah pada poer

- Tentukan beban poer $q_t = \frac{P}{A_{poer}}$
- Menentukan luasan tributary akibat geser satu arah
- Kontrol 'd' (tebal poer) berdasarkan gaya geser satu arah
- $\sigma_u = \sum p / A$
- $V_u = \sigma_u \times (\text{luas total poer-luas pons})$
- Kontrol perlu tulangan geser
 - $\phi V_c > V_u$ (Tidak perlu tulangan geser)
 - $\phi V_c < V_u$ (perlu tulangan geser)
 - Jika $\phi V_c > V_u$ (Tidak perlu tulangan geser), maka dimensi poer diperbesar.

2 Geser dua arah poer

Kontrol kemampuan beton:

$$\text{➤ } V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{fc'} \times b_o \times d \quad (2.7.5.1)$$

(SNI-03-2847-2002, pasal 13.12.2.1.(a))

Dimana :

β = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

b_o = keliling dari penampang kritis

$$b_o = 4(0,5d + b \text{ kolom} + 0,5d)$$

$$\text{➤ } V_c = \left(2 + \frac{a_s \times d}{b_o}\right) \frac{\sqrt{f_c' \times b_o \times d}}{12}$$

(SNI-03-2847-2002, pasal 13.12.2.1.(b))

$$\text{➤ } V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

(SNI-03-2847-2002, pasal 13.12.2.1.(c))

2.8 Perencanaan Balok Baja

2.8.1 Kontrol Dimensi Balok

Balok–balok direncanakan untuk menahan gaya-gaya momen dan geser. Pengelompokkan balok-balok didasarkan pada kebutuhan tahanan gaya momen dan geser maksimal hasil dari kombinasi beban dari output program SAP

2.8.2 Perhitungan Kekuatan

Semua pelat badan yang mempunyai $a/h > 3,0$ harus dianggap tidak diperkaku, dengan h adalah tinggi panel yang terbesar di bentang tersebut.

$$\frac{a}{h} > 3,0 \quad (2.8.2.1)$$

(SNI 03-1729-2002 pasal 8.7.4)

Syarat yang harus dipenuhi untuk balok dengan pengaku, maka sesuai dengan SNI 03-1729-2002 rumus pasal 8.7-2.a

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 7,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.8.2.2)$$

2.8.3 Kuat nominal lentur penampang tekuk lokal

Momen nominal penampang untuk :

$$\text{➤ Penampang compact } \lambda \leq \lambda_p$$

$$\rightarrow M_n = M_p \quad (2.8.3.1)$$

(SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.3)

- Penampang non-compact $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$
 $\rightarrow M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}$ (2.8.3.2)
 (SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.4)
- Penampang compact $\lambda_r \leq \lambda$
 $\rightarrow M_n = M_r (\lambda_r / \lambda)^2$ (2.8.3.3)
 (SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.5)
- Cek Pengaruh tekuk lokal pada sayap:
 Cek Kelangsingan sayap
 $\lambda = \frac{b_f}{t_f}$ (2.8.3.4)
 $\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}}$ (2.8.3.5)
 $\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$ (2.8.3.6)
- Pengaruh tekuk lokal pada badan:
 Cek Kelangsingan badan
 $\lambda = \frac{h}{t_w}$ (2.8.3.7)
 $\lambda_p = \frac{1}{\sqrt{f_y}}$ (2.8.3.8)
 $\lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}}$ (2.8.3.9)

2.8.4 Cek Momen nominal pengaruh tekuk lateral

- Bentang Pendek $L \leq L_p$
 $\rightarrow M_n = M_p$
 (SNI 03-1729-2002 pasal 8.3.3)
- Bentang Menengah $L_p \leq L \leq L_r$
 $\rightarrow M_n = C_b [M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)}] \leq M_p$
 (SNI 03-1729-2002 pasal 8.3.4)
- Bentang Panjang $L \leq L_r$
 $\rightarrow M_n = M_{cr} \leq M_p$
 (SNI 03-1729-2002 pasal 8.3.5)

Dimana:

$$L_p = 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.8.4.1)$$

$$f_L = f_y - f_r \quad (2.8.4.2)$$

$$L_r = r_y \left[\frac{X_1}{f_L} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}} \quad (2.8.4.3)$$

2.8.5 Menentukan Tahanan Momen Lentur

Momen nominal diambil yang terkecil menentukan

$$M_u \leq \phi_b \cdot M_n \quad (2.8.5.1)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2a)

2.8.6 Menentukan Tahanan Geser

Tahanan geser nominal plat badan dihitung sebagai :

➤ Untuk nilai

$$\left(\frac{h}{t_w} \right) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} ; K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h} \right)^2} \quad (2.8.6.1)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2a)

Tahanan geser plastis

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \quad (2.8.6.2)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.3)

➤ Untuk nilai

$$1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w} \right) \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \quad (2.8.6.3)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2b)

Tahanan geser elasto plastis

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \left[1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \right] \frac{1}{\left(\frac{h}{t_w} \right)} \quad (2.8.6.4)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.4)

➤ Untuk nilai

$$1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w} \right) \quad (2.8.6.5)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2c)

Tahanan geser elastis

$$V_n = \frac{0,9 \cdot A_w \cdot K_n \cdot E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} \quad (2.8.6.6)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.5)

Syarat yang harus dipenuhi:

$$V_u \leq \phi_f \cdot V_n \quad (2.8.6.7)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.1)

2.8.7 Interaksi Geser dan Lentur

Elemen yang memikul kombinasi geser dan lentur harus melakukan kontrol sbb :

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi_f \cdot V_n} \leq 1,375 \quad (2.8.7.1)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.9.3)

2.8.8 Kontrol Lendutan

$$(5L^2)[M_s - 0,1(M_a + M_b)] / (48EI) \quad (2.8.8.1)$$

Dimana:

M_s = Momen di tengah lapangan

M_a = Momen Tumpuan

M_b = Momen Tumpuan

Batas Lendutan Maksimum

$$\frac{L}{360} \quad (2.8.8.2)$$

(SNI 03-1729-2002 Tabel 6.4-1)

2.8.9 Sambungan

2.8.9.1 Sambungan Baut

Sambungan baut mengacu pada SNI 03-1729-2002

pasal 13.2 tentang perencanaan baut

Kekuatan satu baut ditinjau dari :

➤ Kekuatan Geser

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f r_l f_u^b A_b \quad (2.8.9.1)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.1)

➤ Kekuatan Tumpu

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \phi_f d_b t_p f_u \quad (2.8.9.2)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.4)

➤ Kekuatan Tarik

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f 0,75 f_u^b A_b \quad (2.8.9.3)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.2)

Keterangan:

$$\phi_f = 0,75$$

A_b = Luas penampang baut

r_l = 0,50 (baut tanpa ulir)

= 0,40 (baut dengan ulir)

d_b = diameter baut

t_p = Tebal plat

f_u = Tegangan tarik putus

Suatu baut yang memikul gaya terfaktor, R_u harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.8.9.4)$$

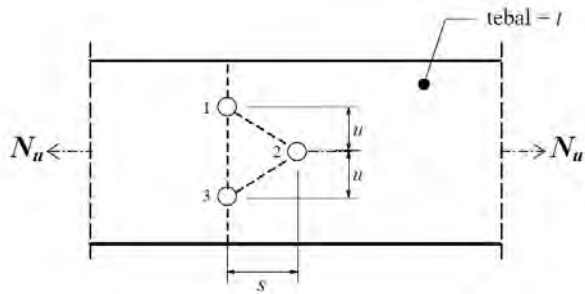
(SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2)

Keterangan:

Φ = adalah faktor reduksi kekuatan

R_n = adalah kuat nominal baut(berdasarkan nilai kekuatan geser, tarik, tumpu diambil nilai terkecil)

Tinjauan Plat



Gambar 2.8 1 Robekan baut terhadap pelat sambung

Sumber : SNI 03-1729-2002 Pasal 10.2.1

$$\text{Potongan 1-3: } A_{nt} = A_g - ndt \quad (2.8.9.7)$$

$$\text{Potongan 1-2-3: } A_{nt} = A_g - ndt + \sum \frac{s^2 t}{4u} \quad (2.8.9.8)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 10.2.1)

Keterangan:

A_g = luas penampang bruto, mm²

t = tebal penampang, mm

d = diameter lubang, mm

n = banyaknya lubang dalam garis potongan

s = jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen struktur, (mm)

u = jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur

2.8.9.2 Sambungan Las

Tebal las minimum las sudut, t_w

Tabel 2.8 1 Ukuran minimum las sudut

Tebal bagian paling tebal, t [mm]	Tebal minimum las sudut, t_w [mm]
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

Sumber : SNI 03-1729-2002 Pasal 13.5.3

Las sudut yang memikul gaya terfaktor per satuan panjang las, R_u harus memenuhi:

$$R_u \leq \phi R_{nw}$$

➤ Berdasarkan bahan las :

$$\phi f R_{nw} = 0,75 t_t (0,6 f_{uw}) \quad (2.8.9.9)$$

➤ Berdasarkan bahan dasar :

$$\phi f R_{nw} = 0,75 t_t (0,6 f_u) \quad (2.8.9.10)$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 13.5.3.10)

Keterangan:

ϕf = 0,75 faktor reduksi kekuatan saat fraktur

f_{uw} = tegangan tarik putus logam las, (Mpa)

f_u = tegangan tarik putus bahan dasar, (Mpa)

t_t = adalah tebal rencana las, (mm)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

1.1 Langkah Metodologi

Langkah-langkah yang digunakan dalam Modifikasi Struktur Gedung Rektorat Universitas Negeri Surabaya Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah:

1.1.1 Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan dalam perencanaan adalah:

- a. Gambar Struktur Bangunan
Digunakan sebagai acuan awal perencanaan elemen struktur dan sebagai data untuk input pembebanan.
- b. Data tanah
Digunakan untuk perhitungan daya dukung tanah untuk perencanaan pondasi.
- c. Peraturan-peraturan yang digunakan
Peraturan yang dipakai sesuai pada dasar teori perencanaan bab 2.2 peraturan yang digunakan

1.1.2 Preliminary desain

Preliminary desain yang diperlukan agar aman dengan cara sebagai berikut:

- a. Perencanaan dimensi balok
- b. Perencanaan dimensi kolom
- c. Perencanaan dimensi pelat

1.1.3 Perhitungan pembebanan

Perhitungan beban-beban yang bekerja disesuaikan dengan peraturan pembebanan. Analisa pembebanan adalah sebagai berikut:

- a. Beban pelat lantai (ditentukan PPIUG 1983)
Pelat akan dianalisa bekerja secara satu arah atau dua arah. Perhitungan momen-momen yang terjadi pada pelat

mengacu pada tabel 13.3.1 PBBI 1971 dengan pelat dianggap jepit penuh. Adapun beban yang bekerja adalah:

- Beban mati
 - Berat plafond
 - Berat pemasangan instalasi listrik
 - Berat pemasangan pemipaan
 - Berat Keramik
 - Berat Spesi
 - Berat Dinding
- Beban Hidup sesuai dengan fungsi gedung
- b. Beban tangga dan bordes (ditentukan PPIUG 1983)
Perhitungan tangga dianggap jepit, sedangkan perletakan bordes diasumsikan sendi.
- c. Beban pada struktur atap
Pada struktur atap yang akan digunakan adalah struktur beton, perhitungan sesuai dengan analisa pelat.
- d. Beban gempa
 - Analisa dengan cara respon spektrum
 - Analisa ketahanan gempa 500 tahun.

1.1.4 Analisa Struktur

Nilai gaya dalam diperoleh untuk menganalisa struktur menggunakan program SAP 2000.

1.1.5 Perhitungan Penulangan Struktur

Komponen-komponen struktur didesain sesuai dengan aturan yang terdapat pada SNI 03-2847-2002. perhitungan meliputi :

1. Output dari SAP 2000 yang berupa momen-momen dan bidang D serta dimensi perencanaan,
2. Kontrol penulangan,
3. Penabelan penulangan yang digunakan untuk bangunan larah melintang dan larah memanjang termasuk pondasi.
4. Sketsa gambar penulangan.

1.1.6 Kontrol Persyaratan

- a. Plat
 - Kontrol jarak spasi tulangan (SNI 03-22847-2002, pasal 15.13.2).
 - Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu.
 - Kontrol perlu tulangan susut dan suhu (SNI 03-2847-2002, pasal 9.12.2.1 dan pasal 10.4.3).
 - Kontrol lendutan (SNI 03-2847-2002, pasal 11.5.3.4)
- b. Balok
 - Kontrol $M_n \text{ pasang} \geq M_n$ untuk penulangan lentur
 - Kontrol penulangan geser yang terdiri dari beberapa kombinasi
- c. Kolom
 - Kontrol momen yang terjadi $M_{\text{pasang}} \geq M_n$
- d. Pondasi
 - Kontrol dimensi poer
 - (SNI 03-2847-2002, pasal 13.12.2.1 (a))
 - (SNI 03-2847-2002, pasal 13.12.2.1 (b))
 - (SNI 03-2847-2002, pasal 13.12.2.1 (c))
 - Kontrol geser poer
 - Geser satu arah (SNI 03-2847-2002, pasal 13.12.2.1.1)
 - Geser dua arah (SNI 03-2847-2002, pasal 13.12.2.1.2)
- e. Stuktur atap
 - Kontrol jarak spasi tulangan (SNI 03-22847-2002, pasal 15.13.2).
 - Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu.
 - Kontrol perlu tulangan susut dan suhu (SNI 03-2847-2002, pasal 9.12.2.1 dan pasal 10.4.3).
 - Kontrol lendutan (SNI 03-2847-2002, pasal 11.5.3.4)

1.1.7 Gambar Rencana

Gambar perencanaan meliputi :

- a. Gambar arsitektur terdiri dari :
 - Gambar denah
 - Gambar tampak
- b. Gambar struktur terdiri dari :

Potongan memanjang

Potongan melintang

c. Gambar penulangan :

Gambar plat

Gambar tangga

Gambar balok

Gambar kolom

Gambar sloof

Gambar poer dan pondasi

d. Gambar detail :

Gambar detail panjang penyaluran, meliputi :

Panjang penyaluran kolom

Panjang penyaluran balok

Panjang penyaluran plat dan tangga

Panjang penyaluran sloof

Panjang penyaluran pondasi

Gambar detail penjangkaran tulangan

Gambar detail pondasi dan poer

Gambar detail atap

e. Gambar struktur

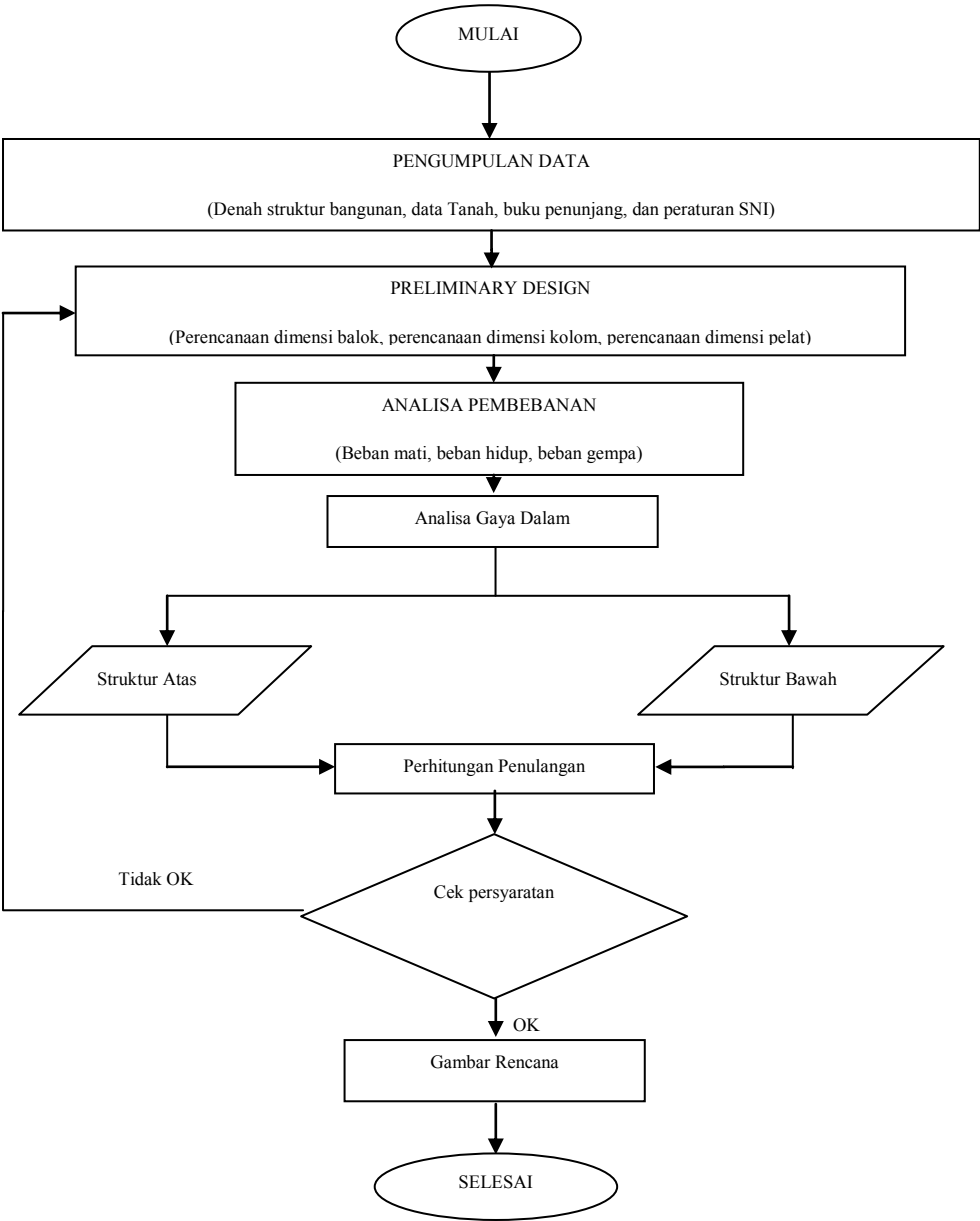
Gambar plat

Gambar balok dan Gambar kolom

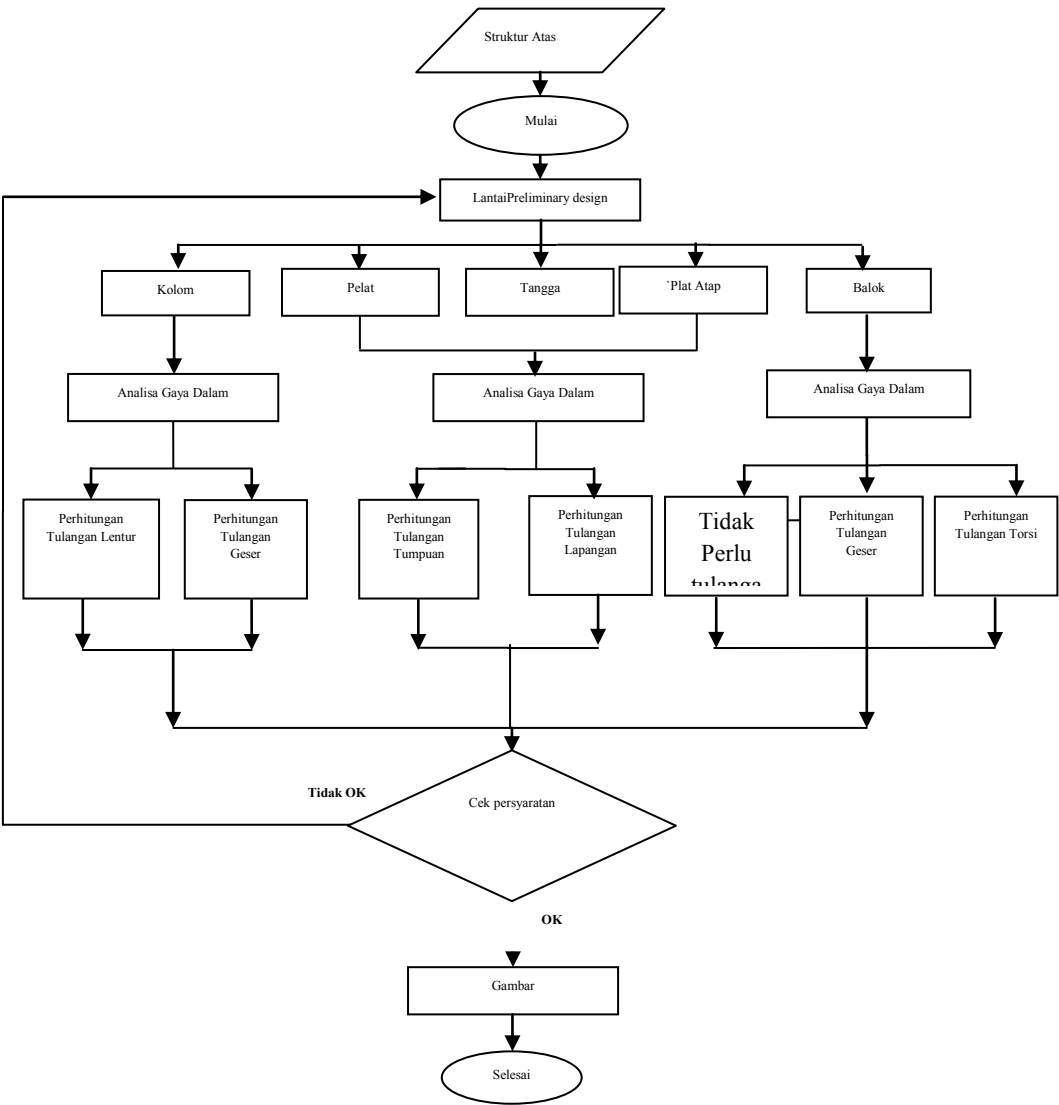
Gambar sloof

Gambar pondasi

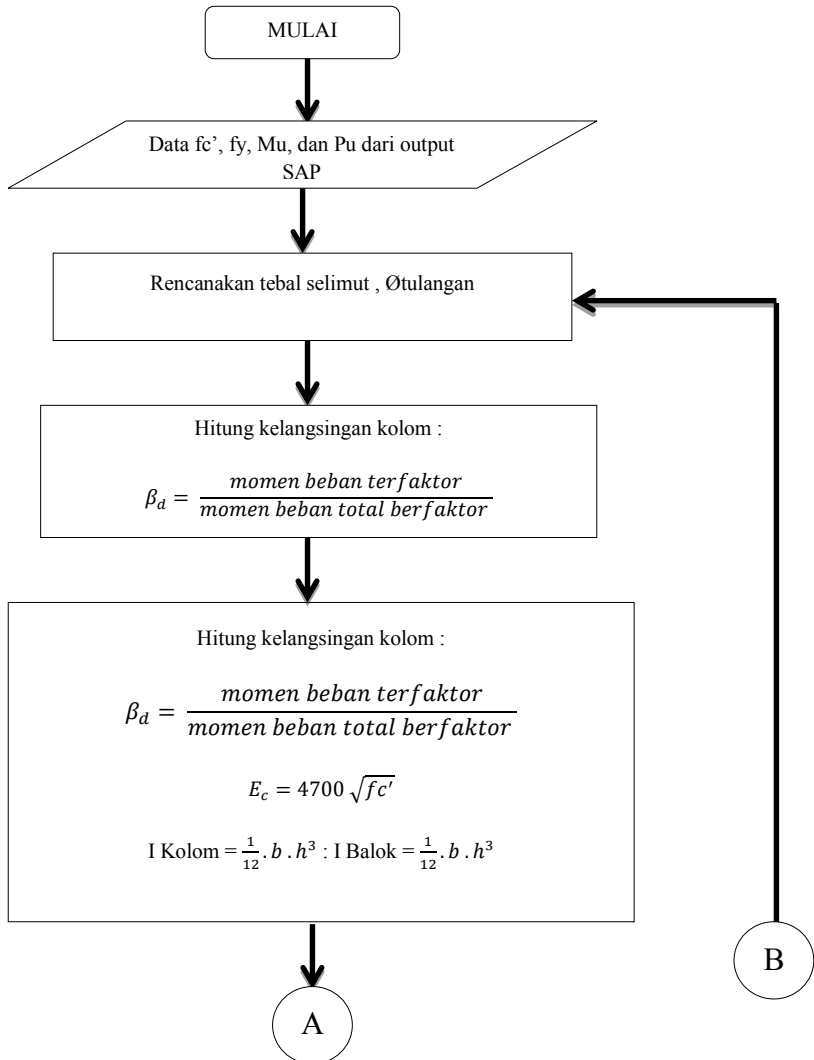
1.2 Bagan Alur

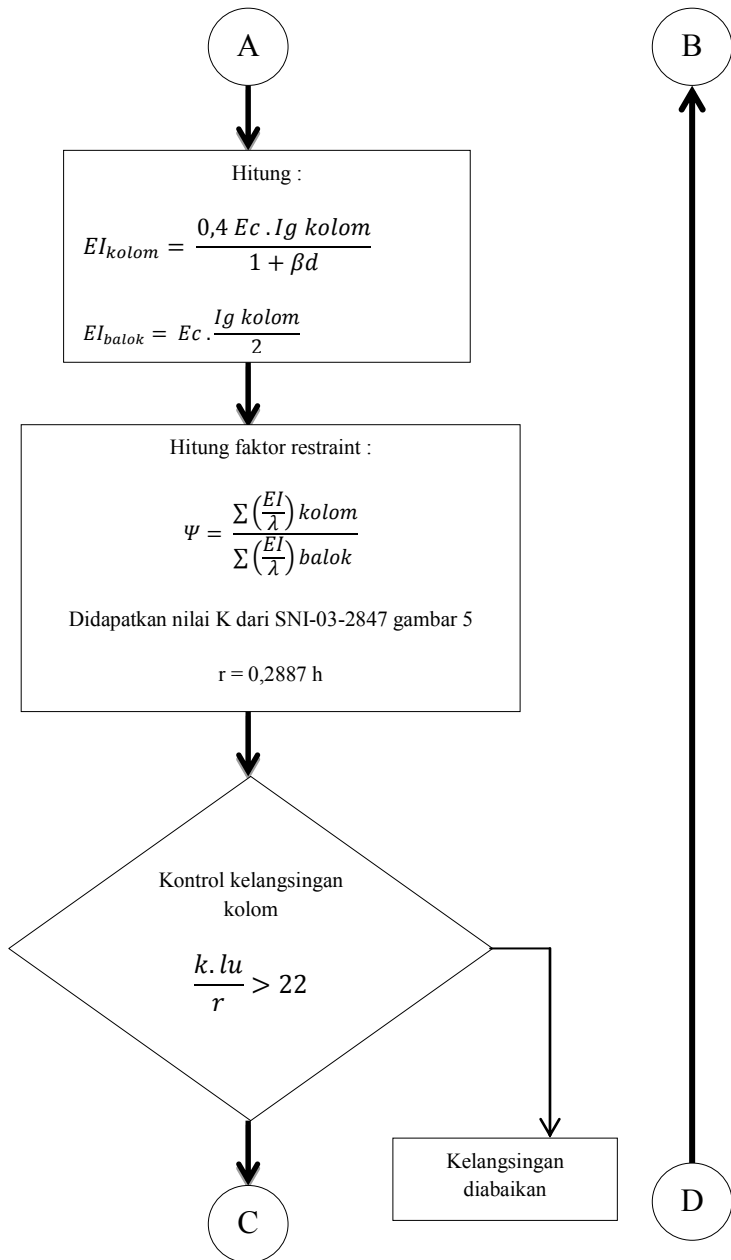


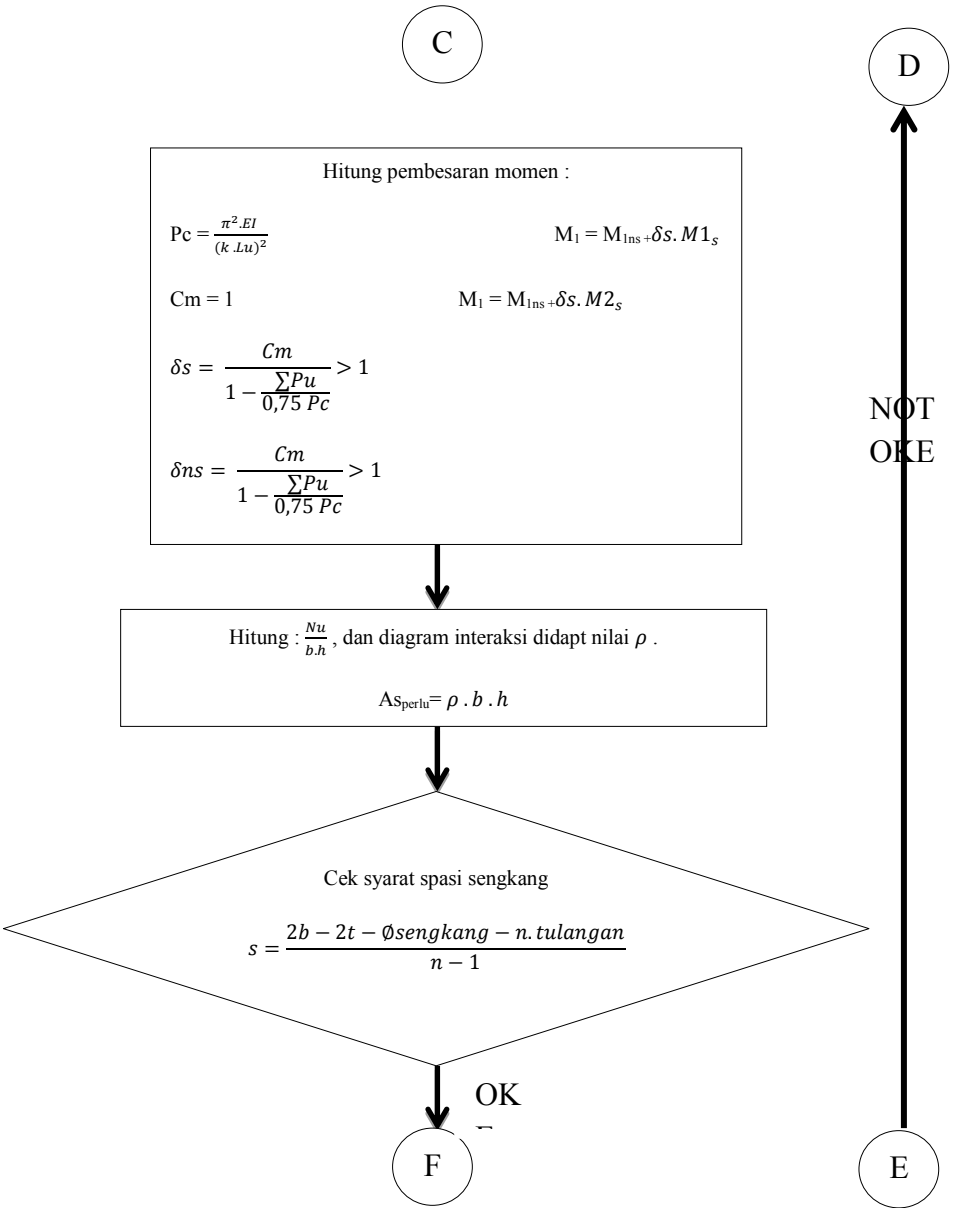
1.2.1 Perencanaan Struktur Atas

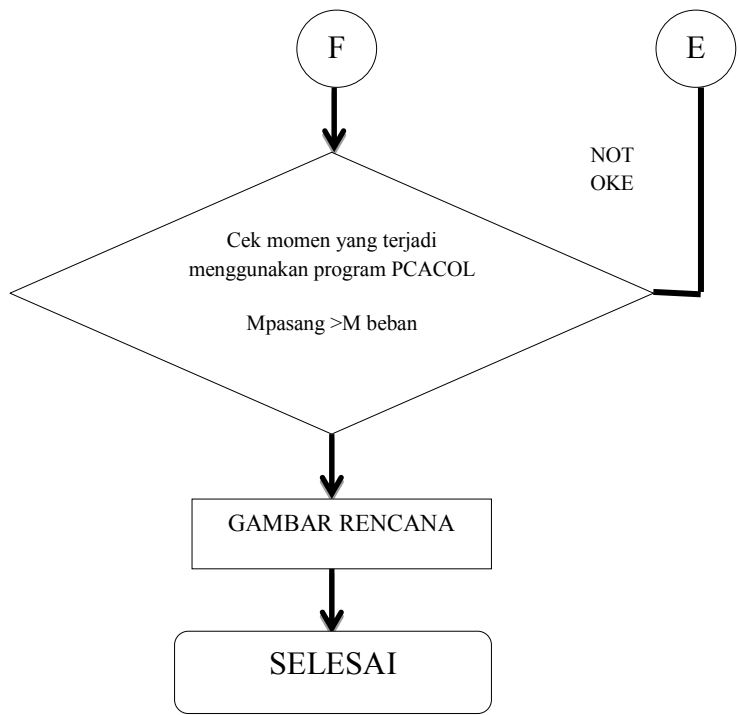


1.2.1.1 Flowchart Kolom

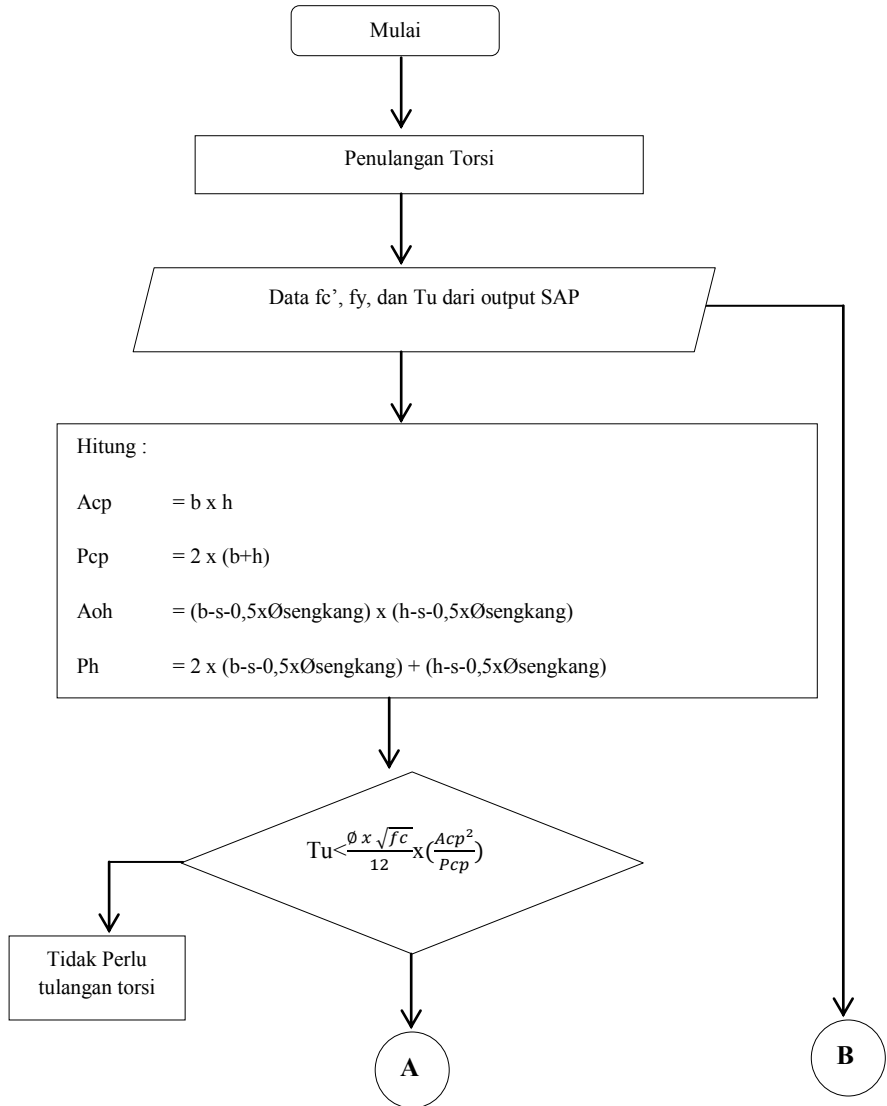


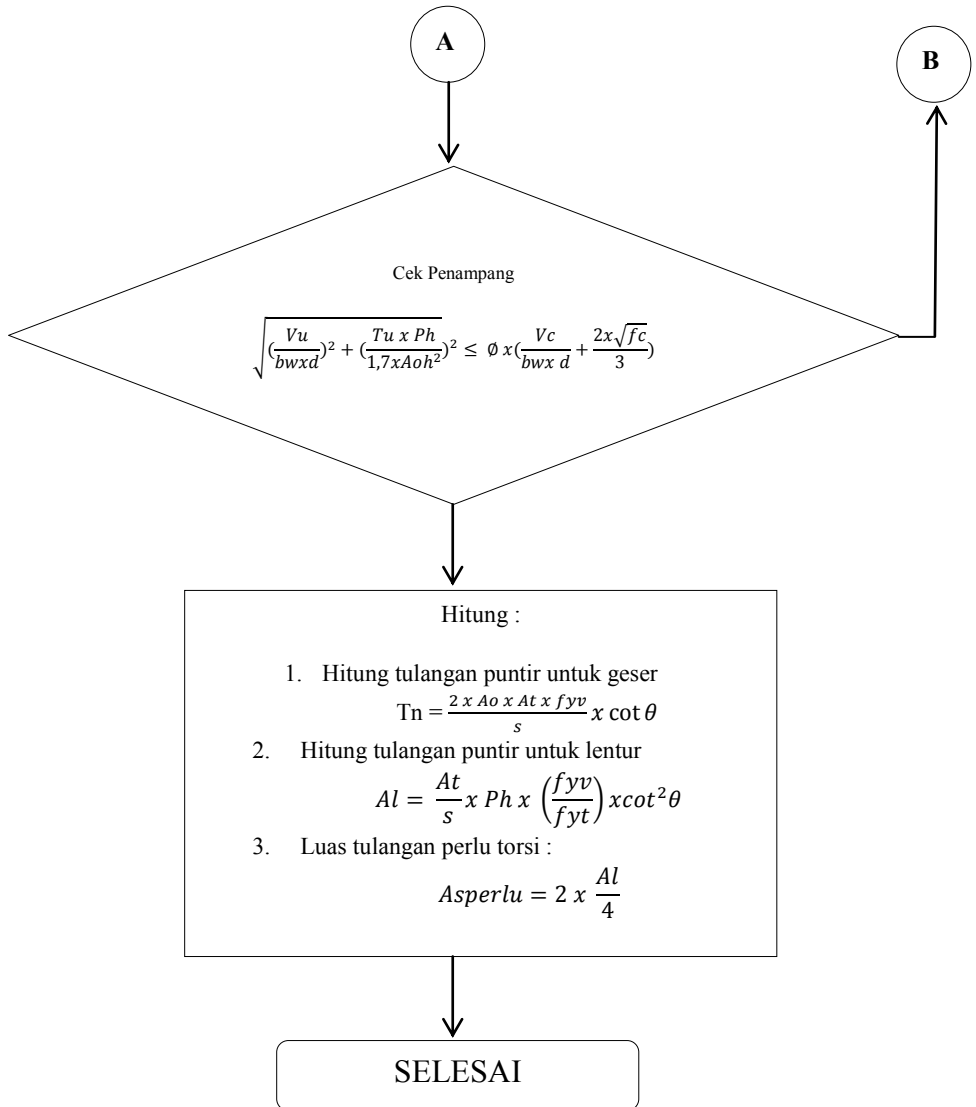




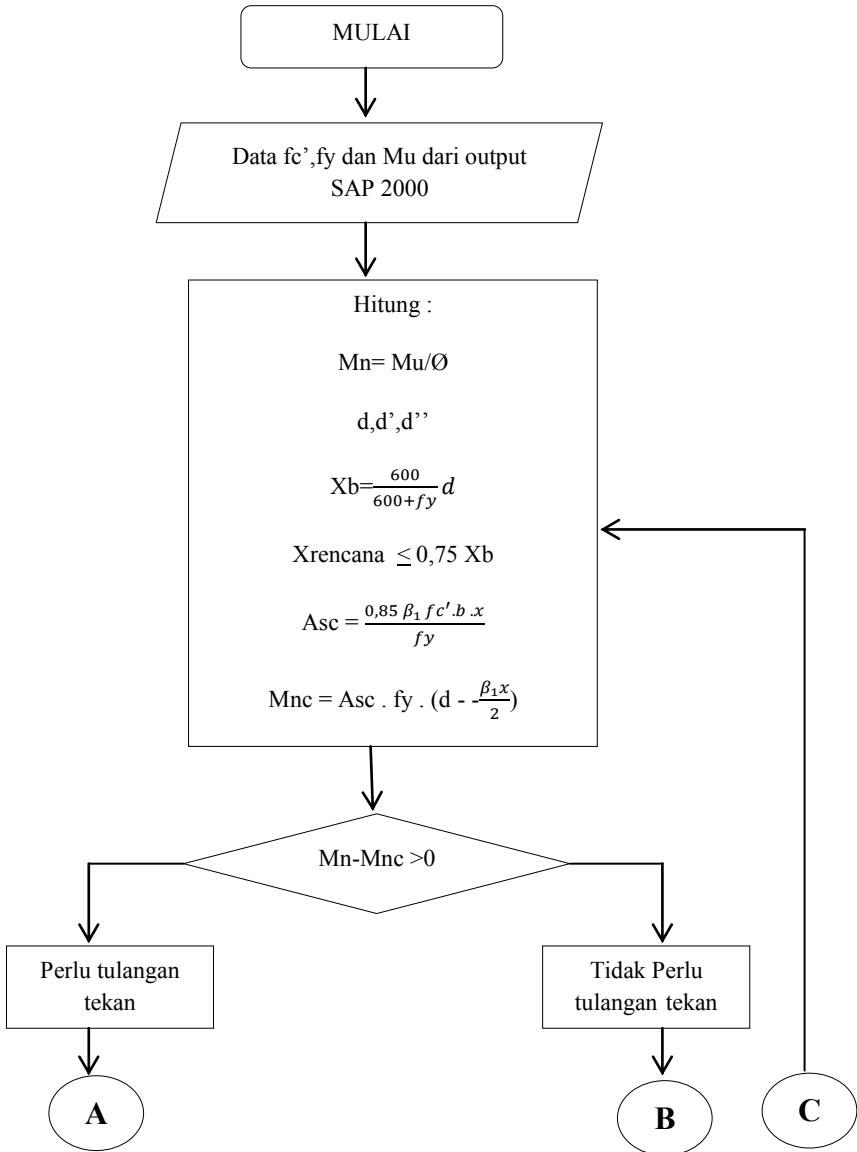


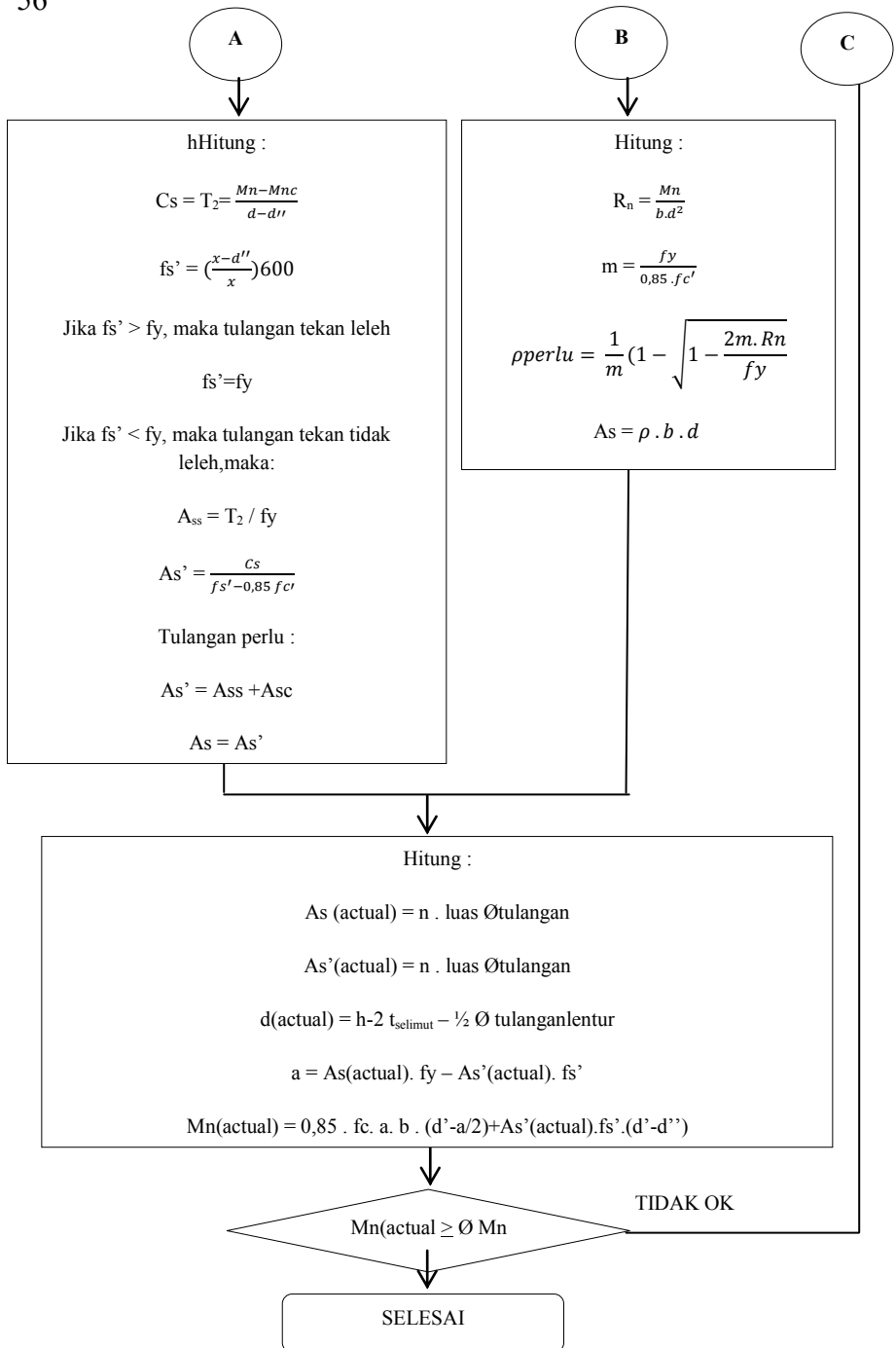
1.2.1.2 Flowchart Balok Penulangan Torsi



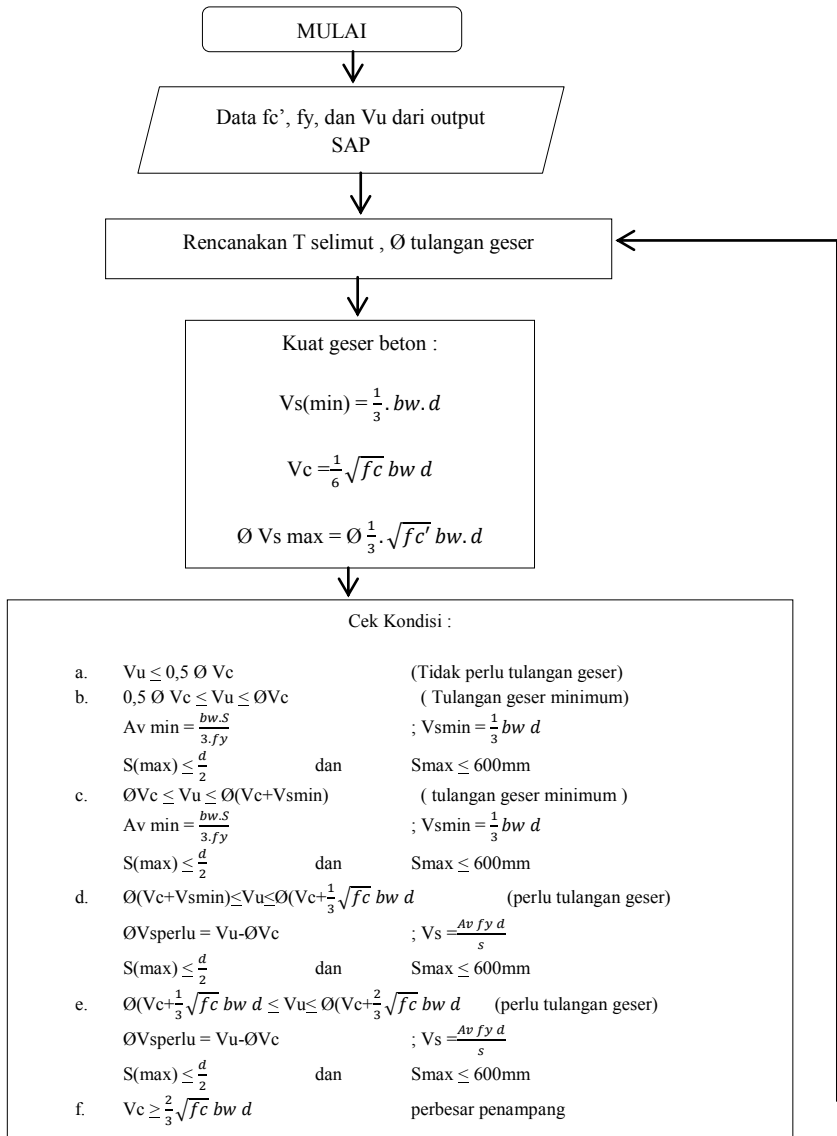


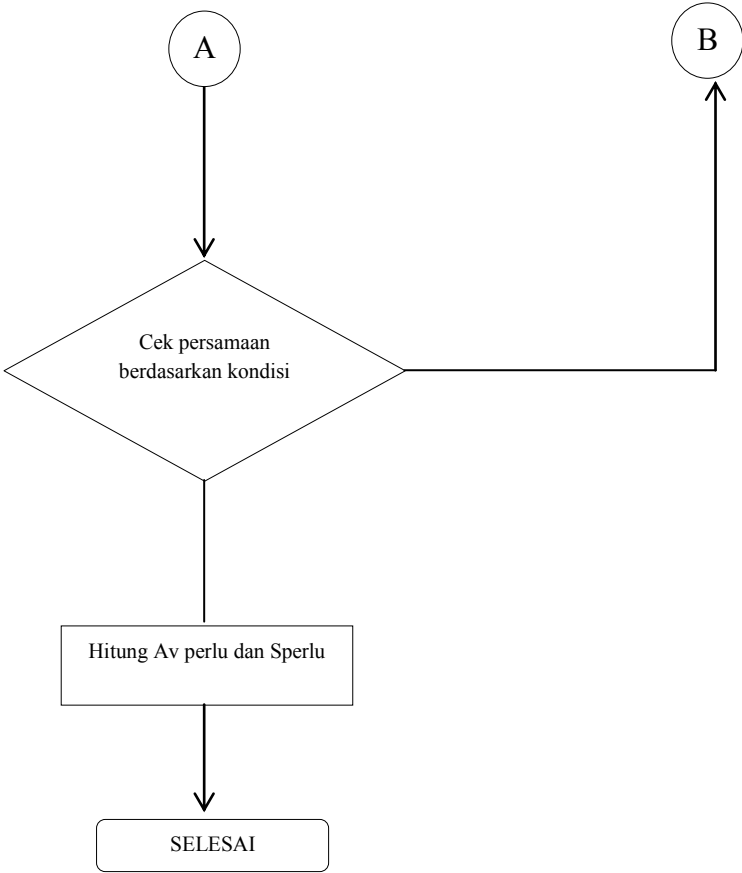
Penulangan Lentur



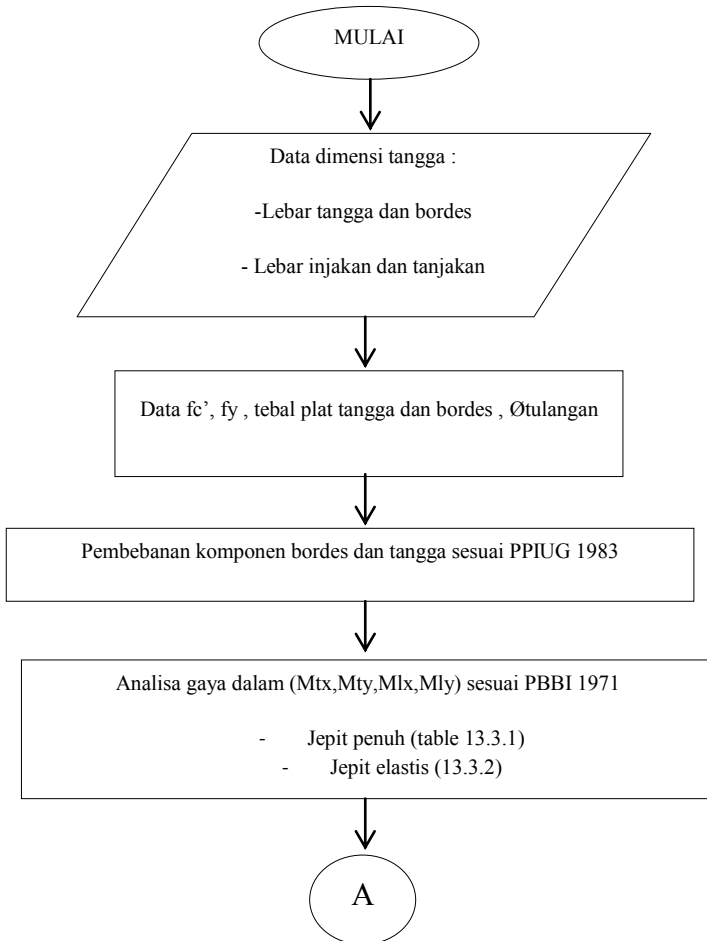


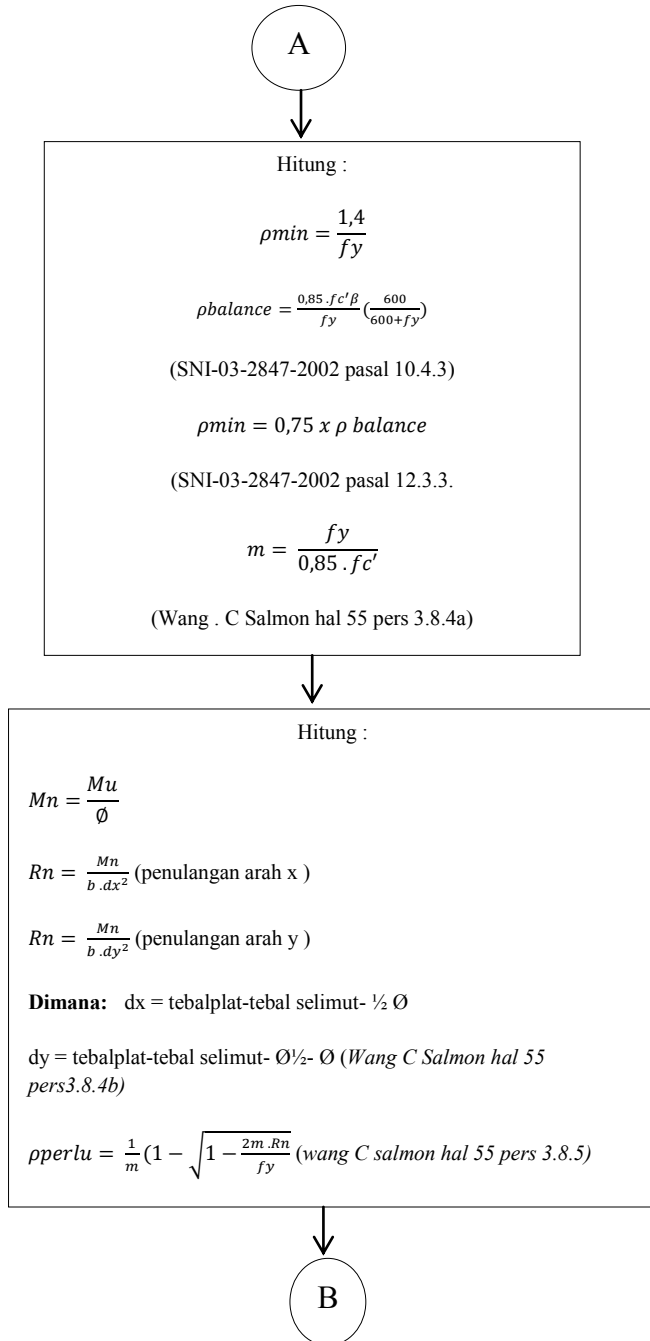
Penulangan Geser

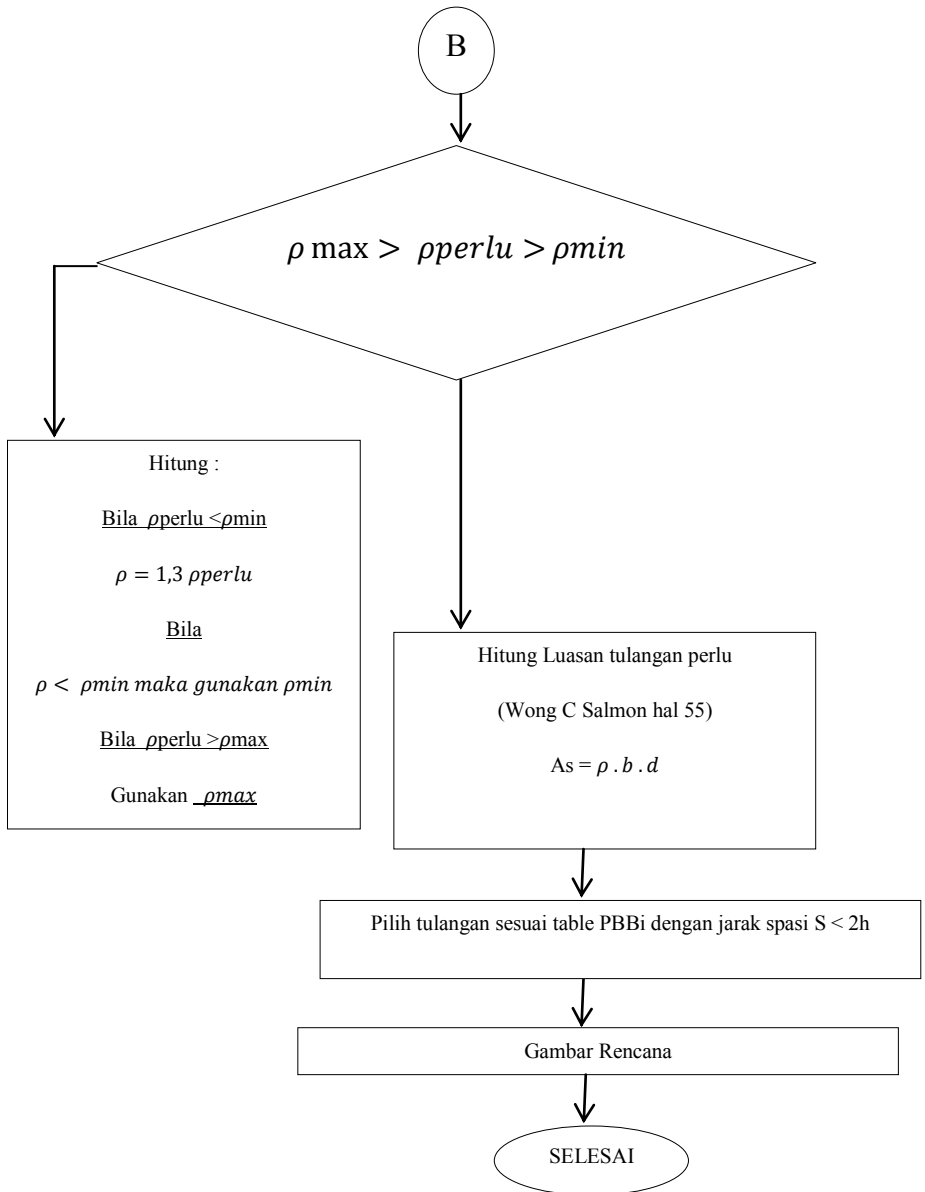




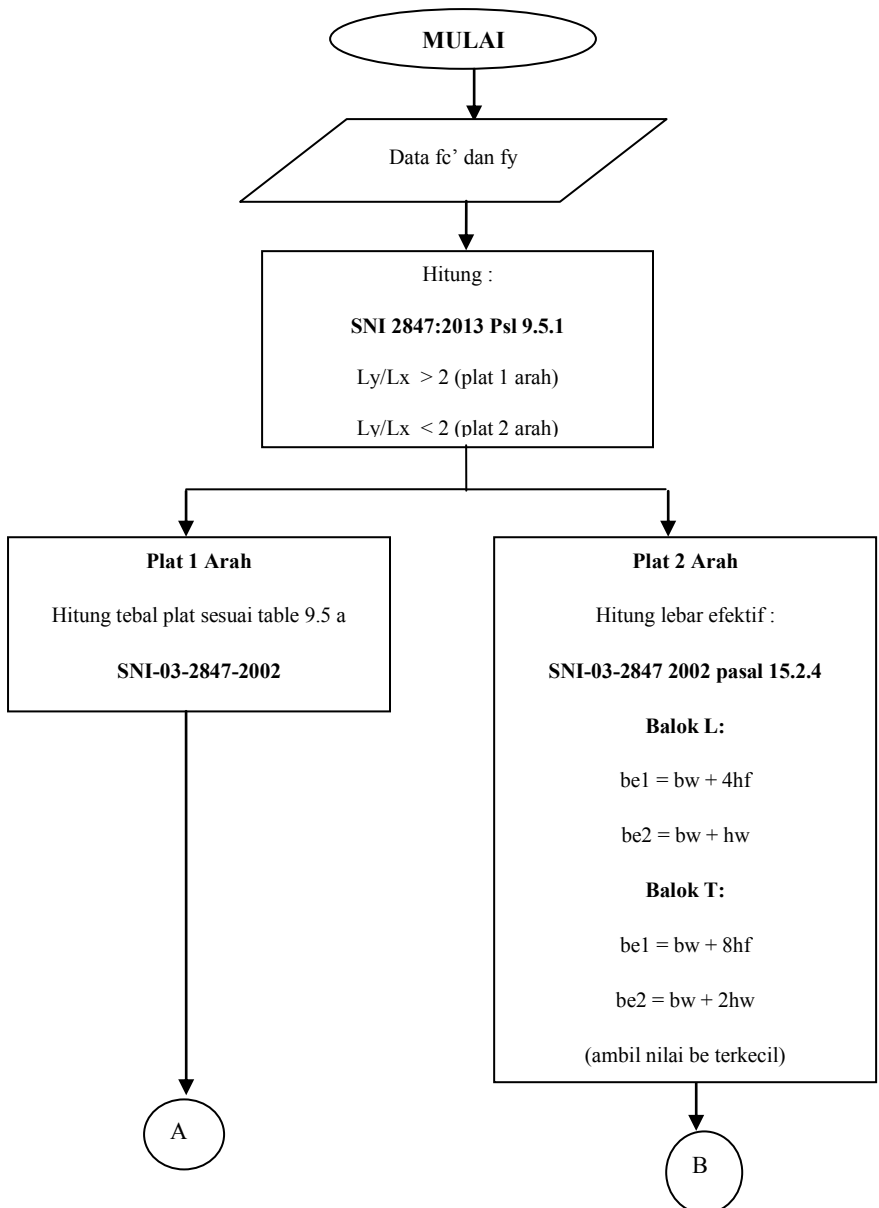
1.2.1.3 Flowchart Tangga

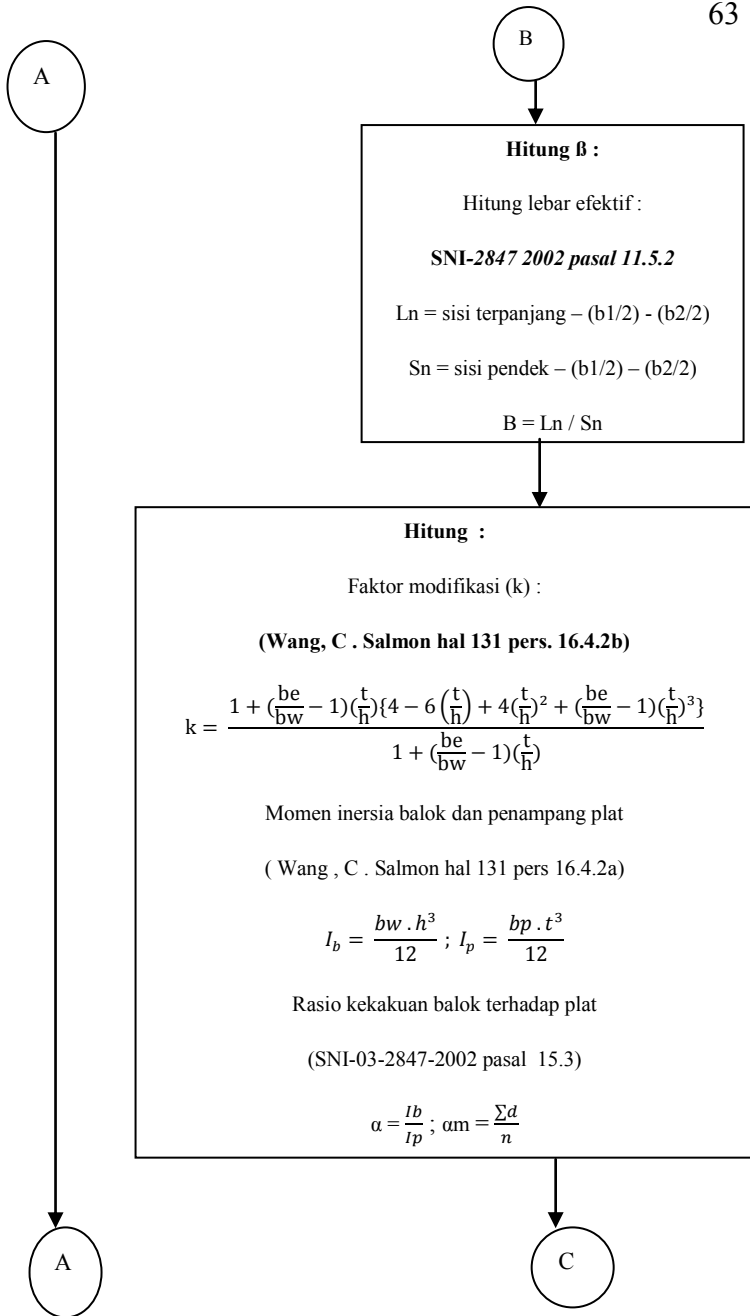


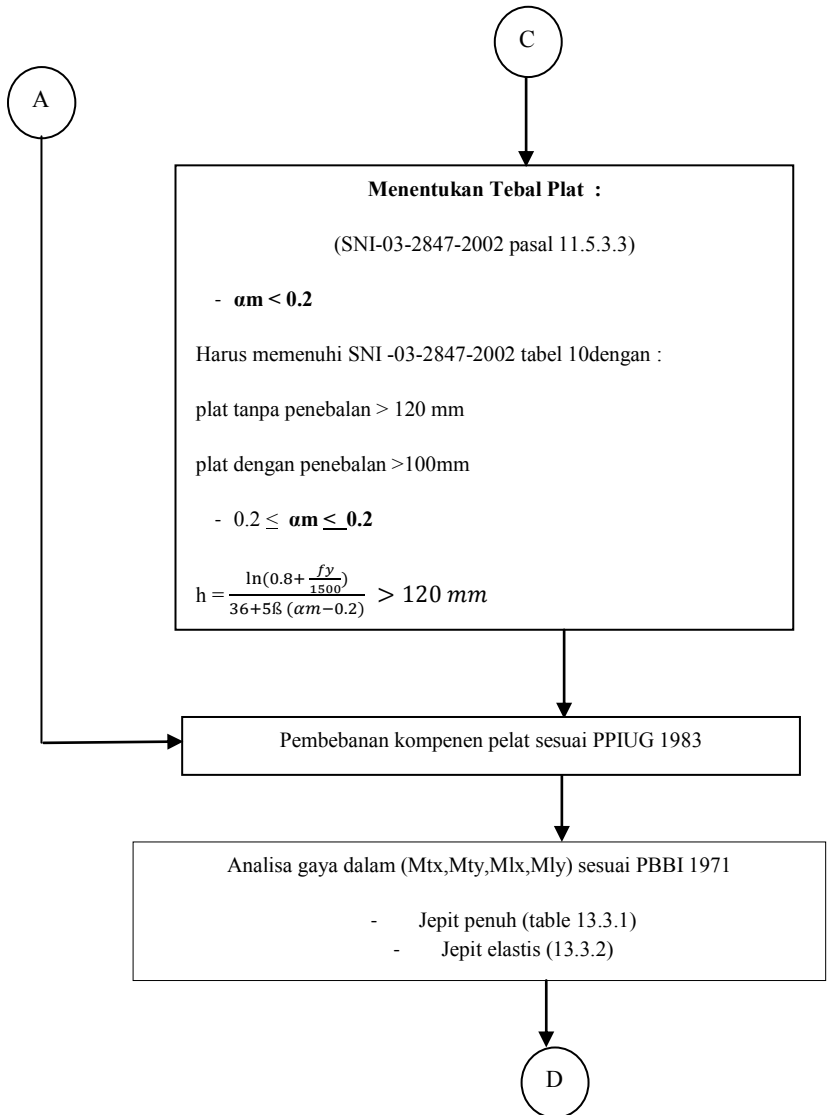


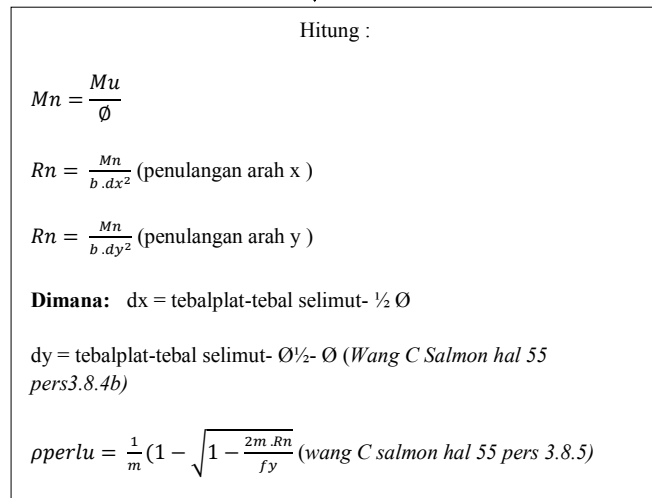
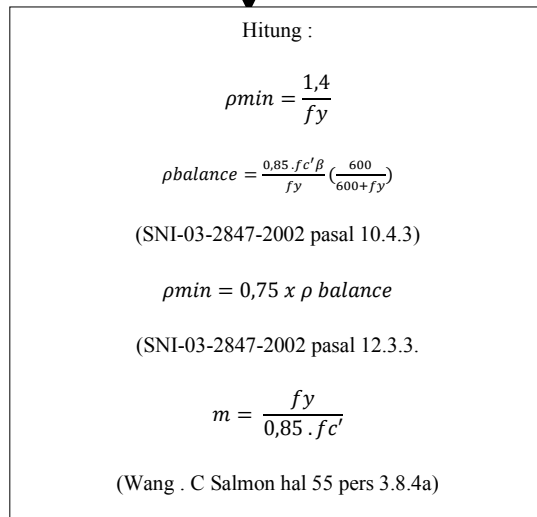


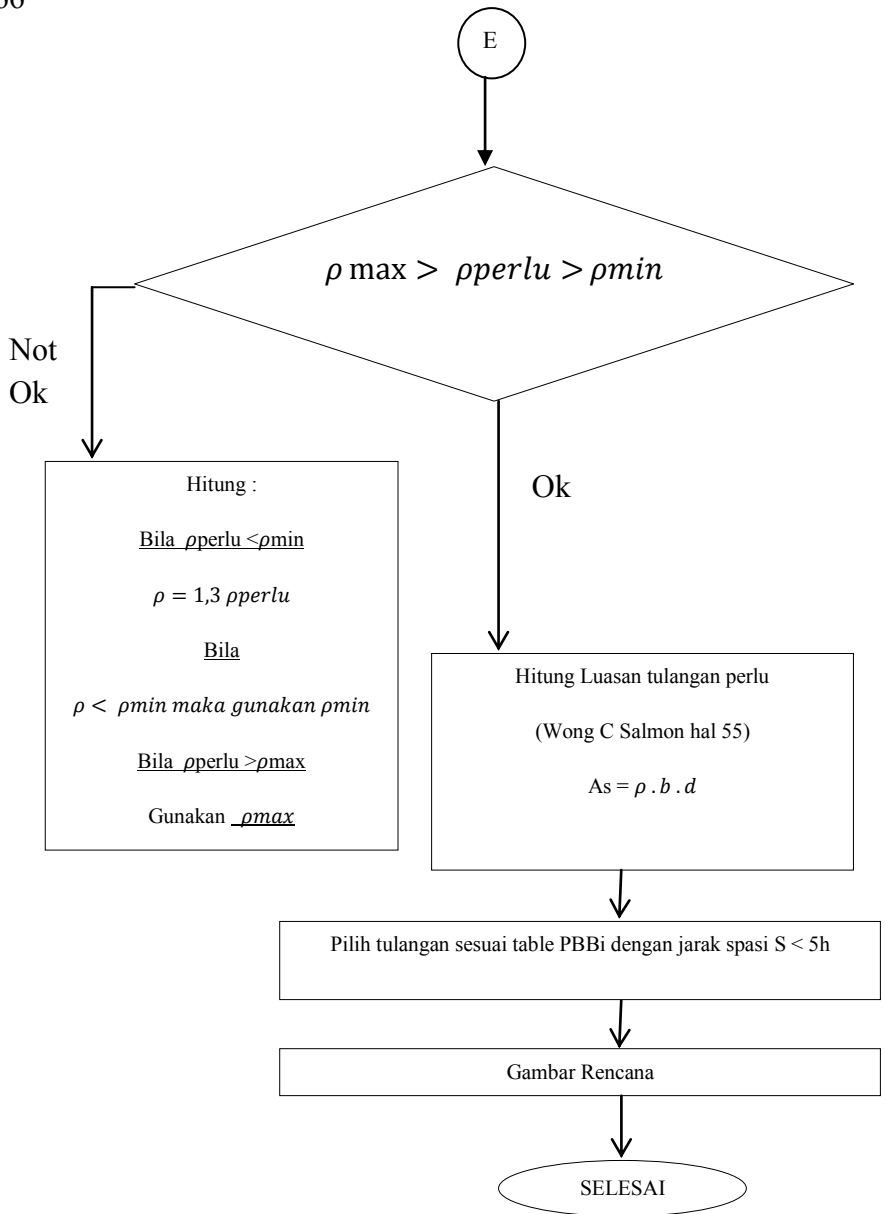
1.2.1.4 Flowchart Pelat



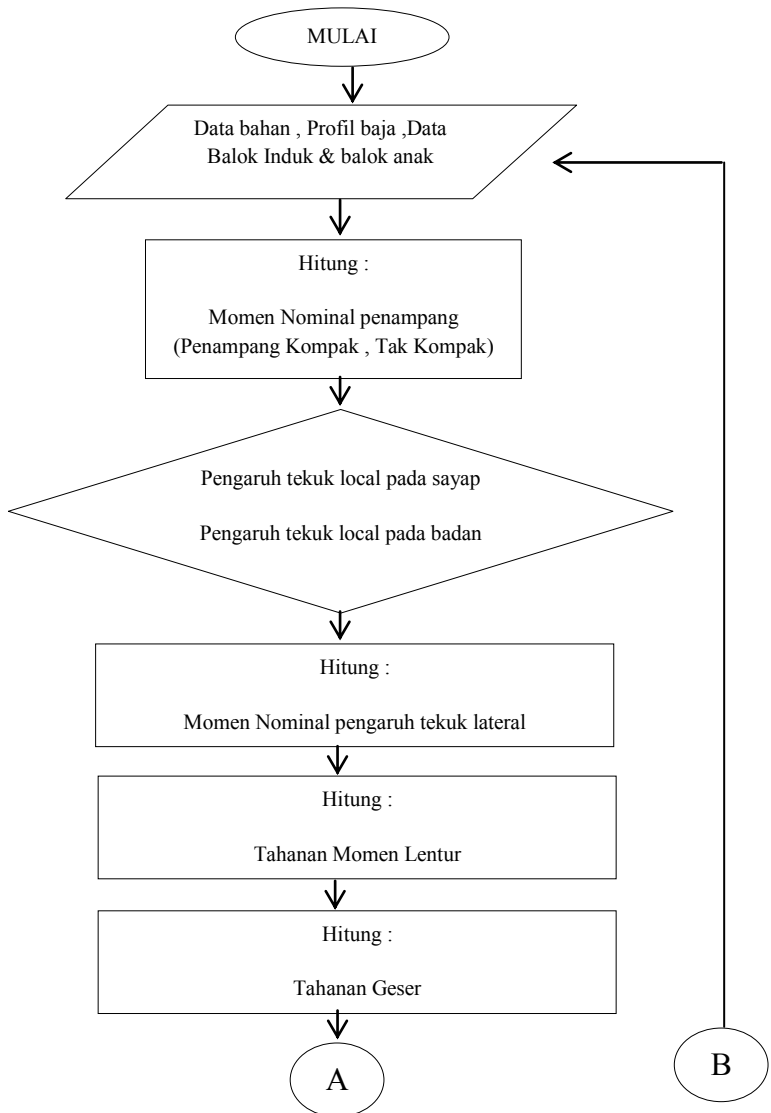


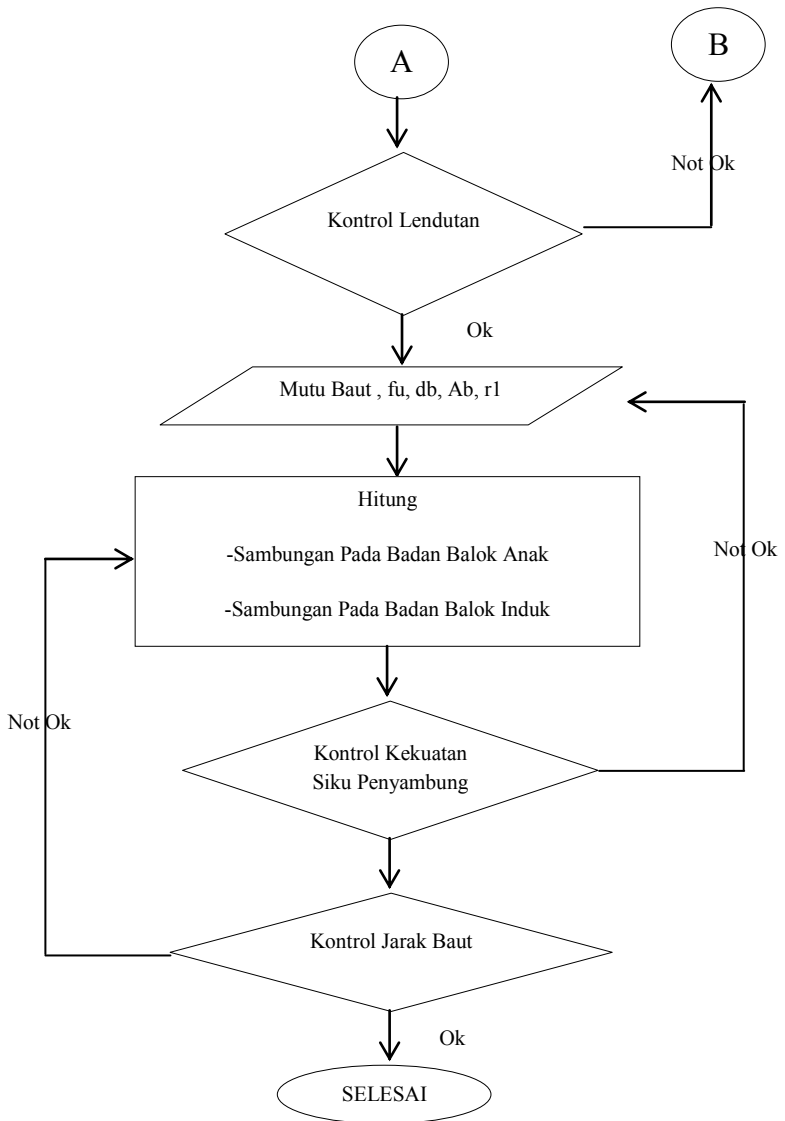




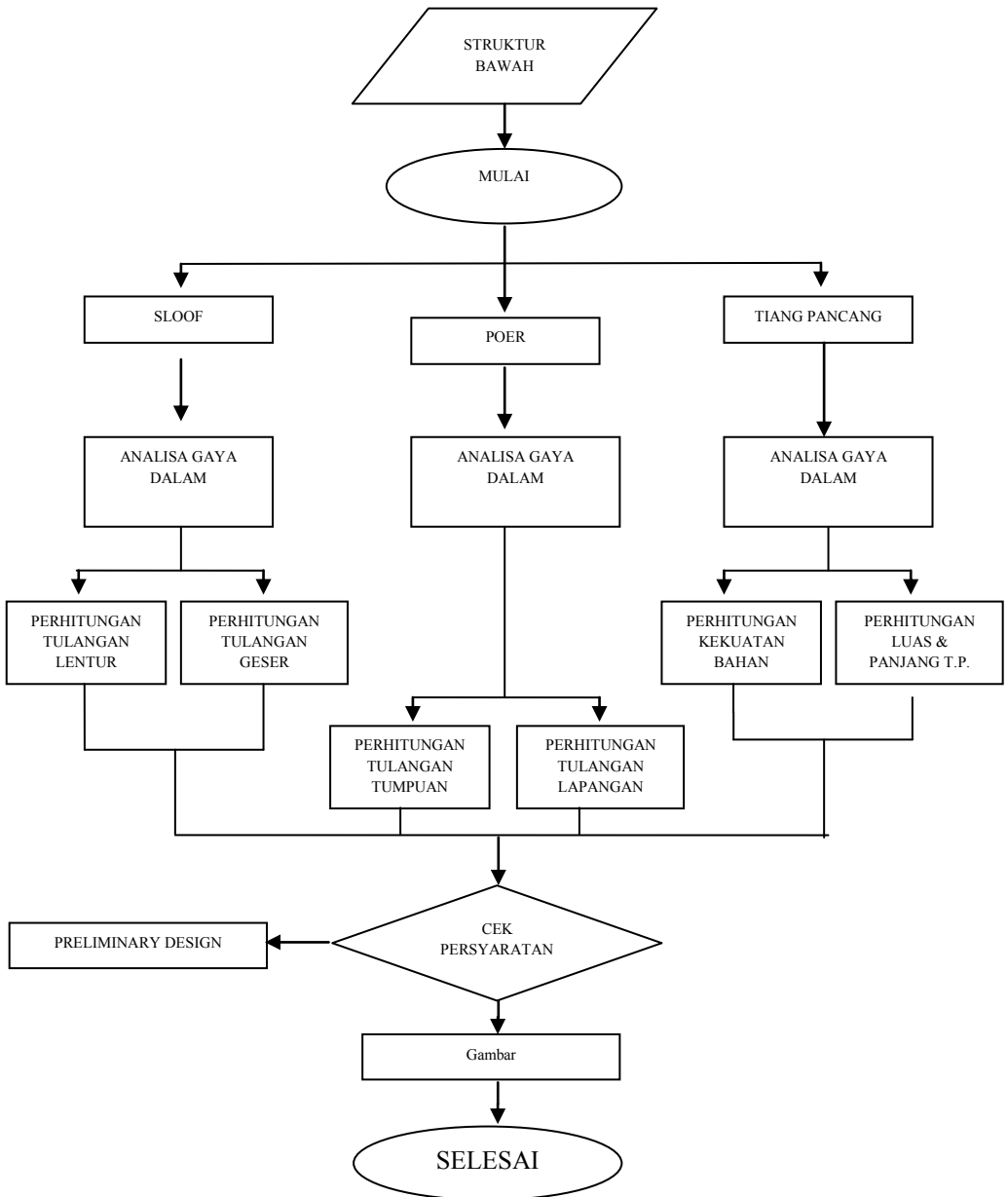


1.2.1.5 Flowchart Balok Baja

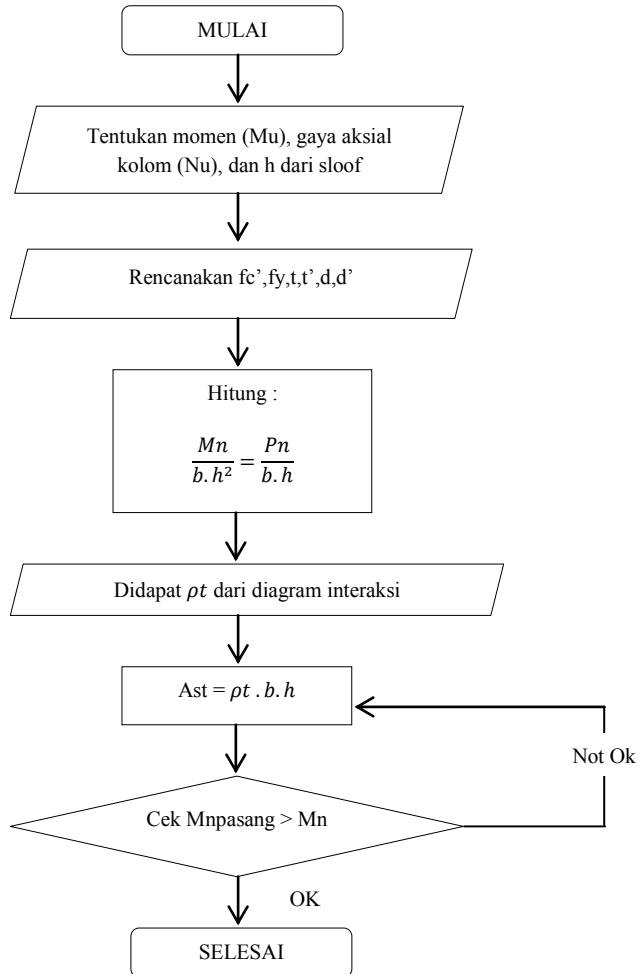




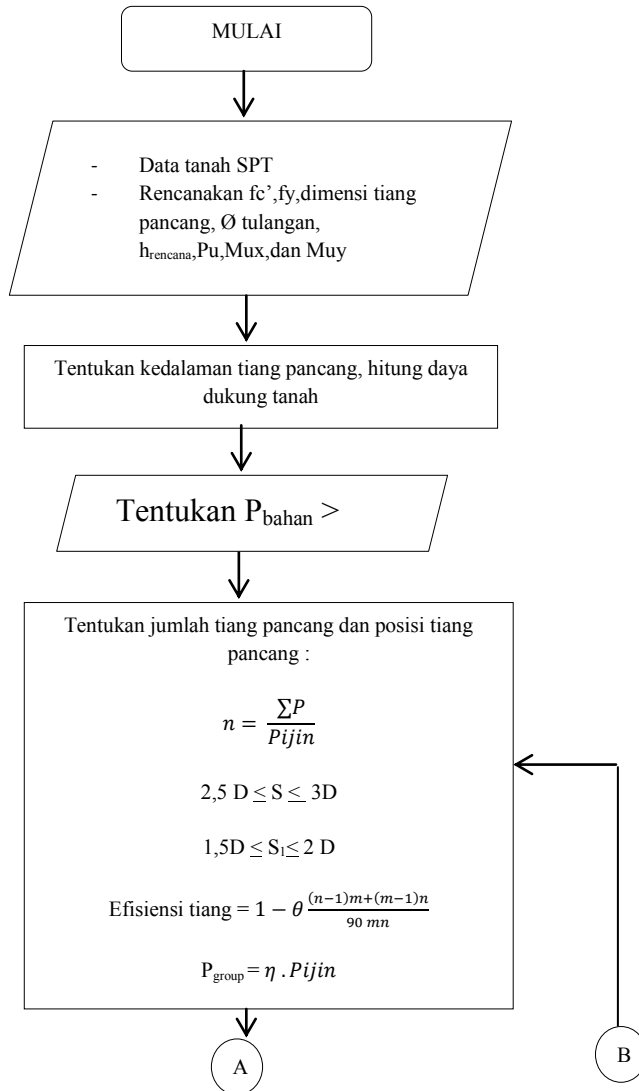
1.2.2 Perencanaan Struktur Bawah

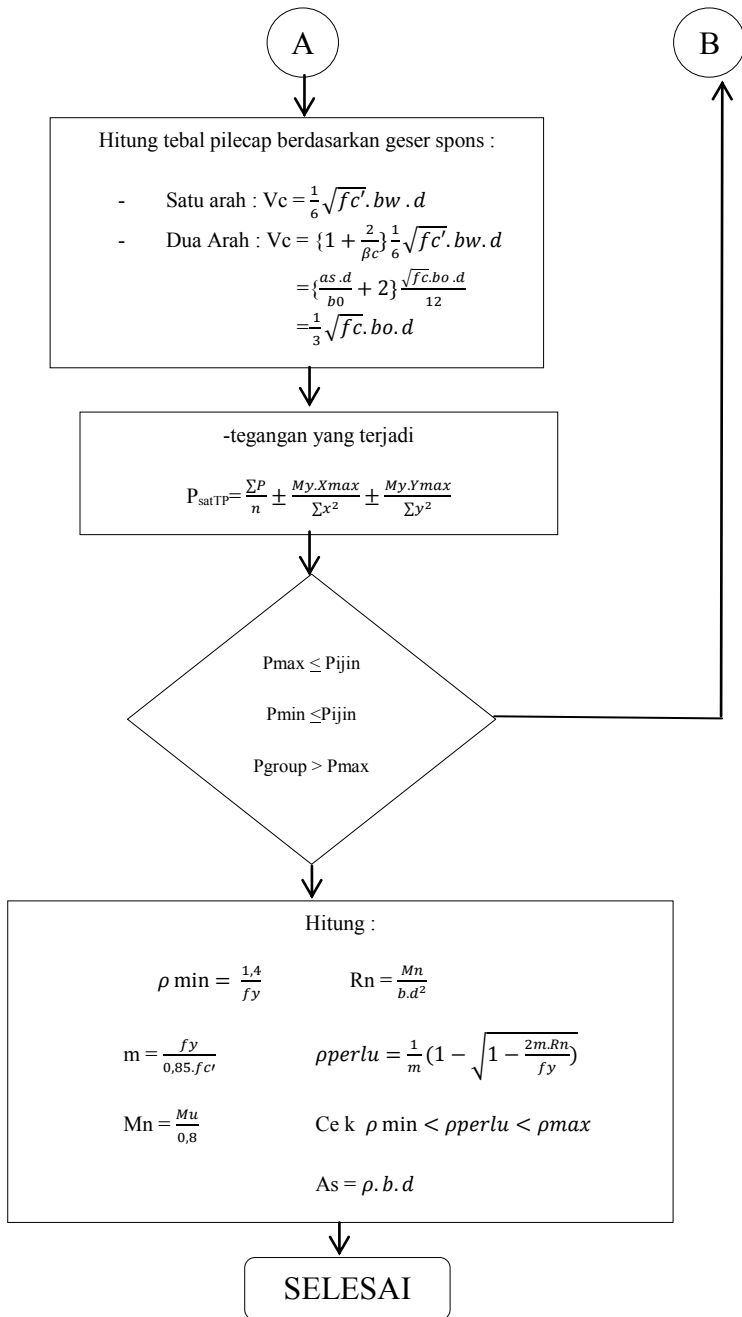


1.2.2.1 Flowchart Sloof



1.2.2.2 Flowchart Pilecap & Poer



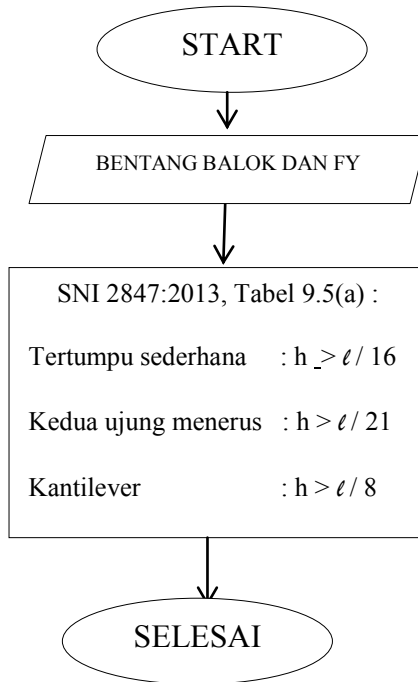


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Awal Struktur

Sebelum merencanakan struktur gedung rektorat UNESA, terlebih dahulu menentukan dimensi struktur-struktur utama yang akan digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

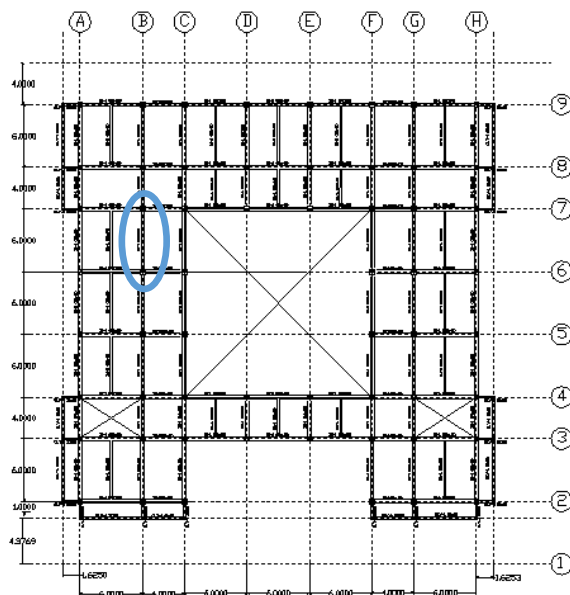


A. Data-data Perencanaan :

- Jenis Bangunan = Perkantoran
- Lebar Bangunan = 42 m
- Panjang Bangunan = 42 m
- Tinggi Total = 16 m
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 Mpa
- Mutu Beton (f_c') = 25 Mpa
- Ketentuan Perencanaan berdasarkan SNI 2847:2013 pada tabel 9.5(a) :
 - Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/16$.
 - Komponen struktur balok kantilever sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/8$.
 - Untuk kuat leleh lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) dikalikan dengan $(0,4 + \frac{f_y}{700})$.

B. Perhitungan Perencanaan:

- Balok Induk
 - Tipe Balok = BI-1
 - Bentang Balok = 600 cm
 - Gambar Denah Perencanaan Balok



Gambar 4.1. 1 Gambar Denah Balok Induk Melintang yang Ditinjau

- Perhitungan Perencanaan

$$h \geq \frac{L}{14} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right).$$

$$h \geq \frac{600 \text{ cm}}{14} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right).$$

$$h \geq 41,63 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

direncanakan $h = 45 \text{ cm}$

$$b \geq \frac{2}{3} \cdot h$$

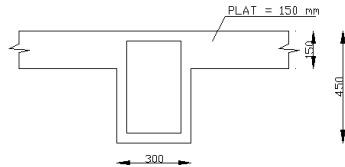
$$b \geq \frac{2}{3} \cdot 45 \text{ cm}$$

$$b \geq 30 \text{ cm}$$

direncanakan $b = 30 \text{ cm}$

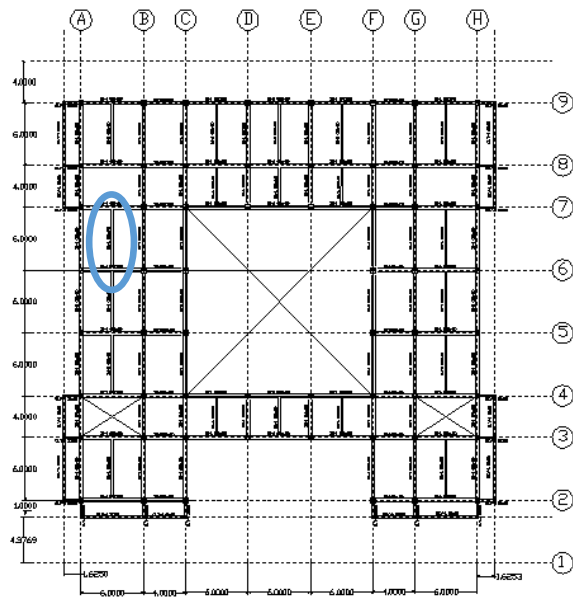
➤ Maka direncanakan dimensi Balok Induk (B1-1) dengan dimensi 30/45 cm.

➤ Hasil akhir perencanaan :



➤ Balok Anak

- Tipe Balok = BA-1
- Bentang Balok = 600 cm
- Gambar Denah Perencanaan Balok Anak :



Gambar 4.1. 2 Denah Perencanaan Balok Anak yang Ditinjau

- Perhitungan Perencanaan

$$h \geq \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right).$$

$$h \geq \frac{600 \text{ cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right).$$

$$h \geq 36,43 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

direncanakan $h = 40 \text{ cm}$

$$b \geq \frac{2}{3} \cdot h$$

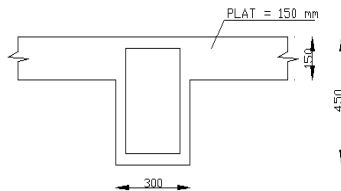
$$b \geq \frac{2}{3} \cdot 40 \text{ cm}$$

$$b \geq 26,67 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

direncanakan $b = 30 \text{ cm}$

➤ **Maka direncanakan dimensi Balok Anak (BA-1) dengan dimensi 30/40 cm.**

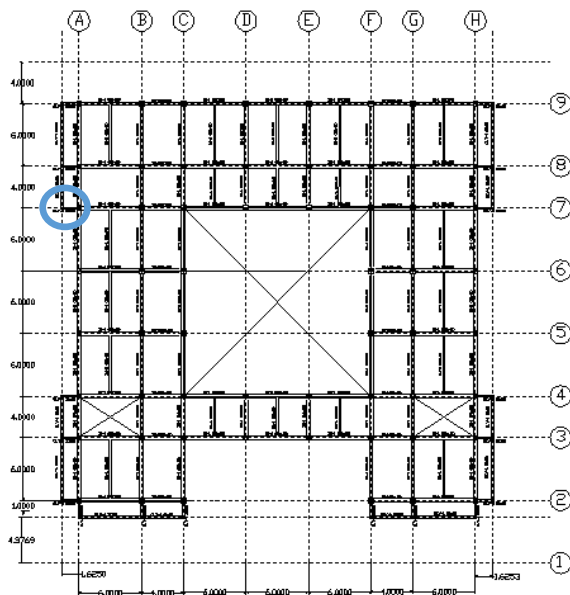
➤ Hasil akhir Perencanaan



➤ Balok Kantilever

- Tipe Balok = CLV-1
- Bentang Balok = 150 cm

- Gambar Perencanaan :



Gambar 4.1. 3 Gambar Denah Perencanaan Balok Kantilever yang Ditinjau

- Perhitungan Perencanaan

$$h \geq \frac{L}{8} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right).$$

$$h \geq \frac{150 \text{ cm}}{8} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right).$$

$$h \geq 18,21 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

direncanakan $h = 20 \text{ cm}$

$$b \geq \frac{2}{3} \cdot h$$

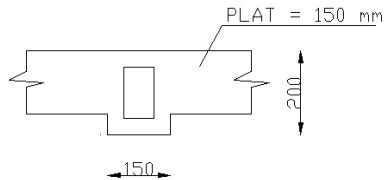
$$b \geq \frac{2}{3} \cdot 20 \text{ cm}$$

$$b \geq 13,33 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

direncanakan $b = 15 \text{ cm}$

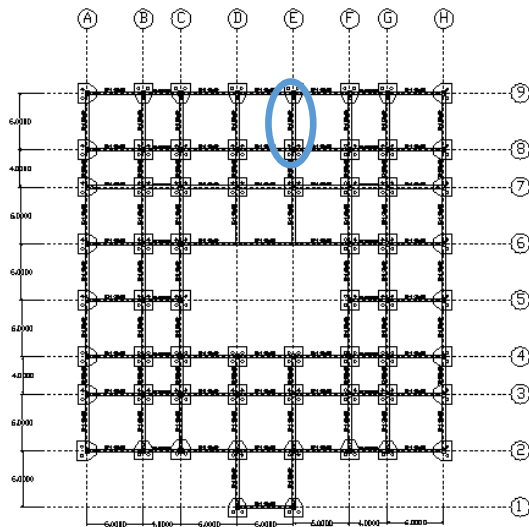
- Maka direncanakan dimensi Balok Kantilever (CLV-1) dengan dimensi 15/20 cm.

➤ Hasil akhir perencanaan :



➤ Balok Sloof (BS-1)

- Tipe Balok = BS-1
- Bentang Sloof $L_{\text{Sloof}} = 600 \text{ cm}$
- Bentang Balok $L_{\text{balok}} = 600 \text{ cm}$
- Dimensi Balok $b_{\text{balok}} = 30 \text{ cm}$
- Dimensi Balok $h_{\text{balok}} = 45 \text{ cm}$
- Kuat Tekan Balok (f_c') = 25 Mpa
- Kuat Leleh tulangan lentur = 400 Mpa
- Kuat Leleh tulangan geser = 400 Mpa
- .Gambar denah perencanaan :



- Perhitungan perencanaan :

$$h \geq \frac{L}{14} \times \left(0,4 + \frac{fy}{700}\right).$$

$$h \geq \frac{600 \text{ cm}}{14} \times \left(0,4 + \frac{fy}{700}\right).$$

$$h \geq 41,63 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

direncanakan $h = 45 \text{ cm}$

$$b \geq \frac{2}{3} \cdot h$$

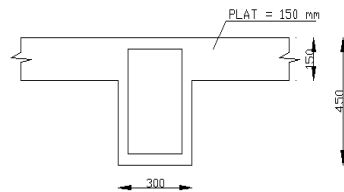
$$b \geq \frac{2}{3} \cdot 45 \text{ cm}$$

$$b \geq 30 \text{ cm}$$

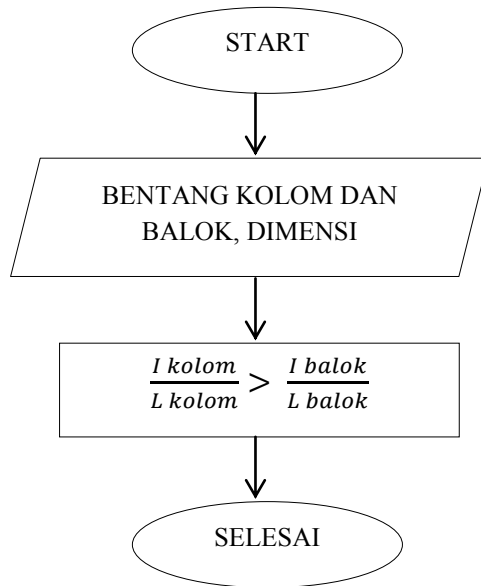
direncanakan $b = 30 \text{ cm}$

➤ Maka dimensi balok sloof (BS1) = 30/45 cm

➤ Hasil akhir gambar perencanaan



4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

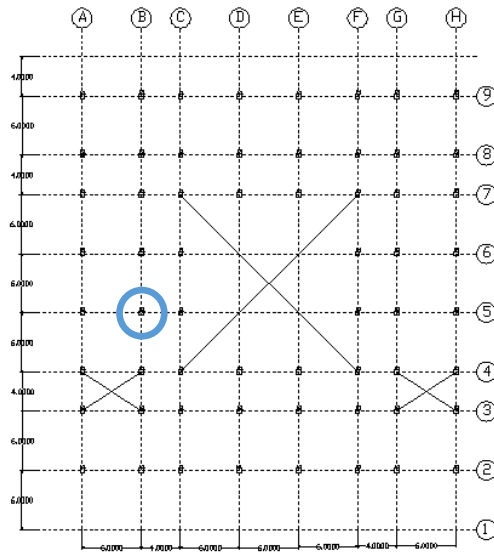


➤ KOLOM 1

Data-data Perencanaan:

- | | | |
|-----------------|-------------|----------|
| • Tipe Kolom | | = K-1 |
| • Tinggi Kolom | h_{kolom} | = 400 cm |
| • Bentang Balok | L_{balok} | = 600 cm |
| • Dimensi Balok | b_{balok} | = 30 cm |
| • Dimensi Balok | h_{balok} | = 45 cm |

- Gambar Perencanaan :



Gambar 4.1. 4 Denah kolom yang ditinjau

- Ketentuan Perencanaan:

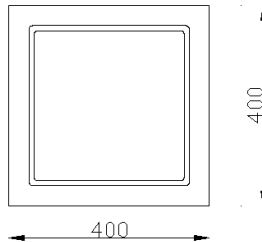
$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

- Perhitungan Perencanaan:

$$\begin{aligned} \frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} &\geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}} \\ \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3}{\frac{1}{12} \cdot h^4} &\geq \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3}{\frac{1}{12} \cdot 30cm \cdot (45)^3 cm} \\ \frac{H_{kolom}}{400 cm} &\geq \frac{600 cm}{600 cm} \\ \frac{\frac{1}{12} \cdot h^4}{400 cm} &\geq 379,69 cm^3 \end{aligned}$$

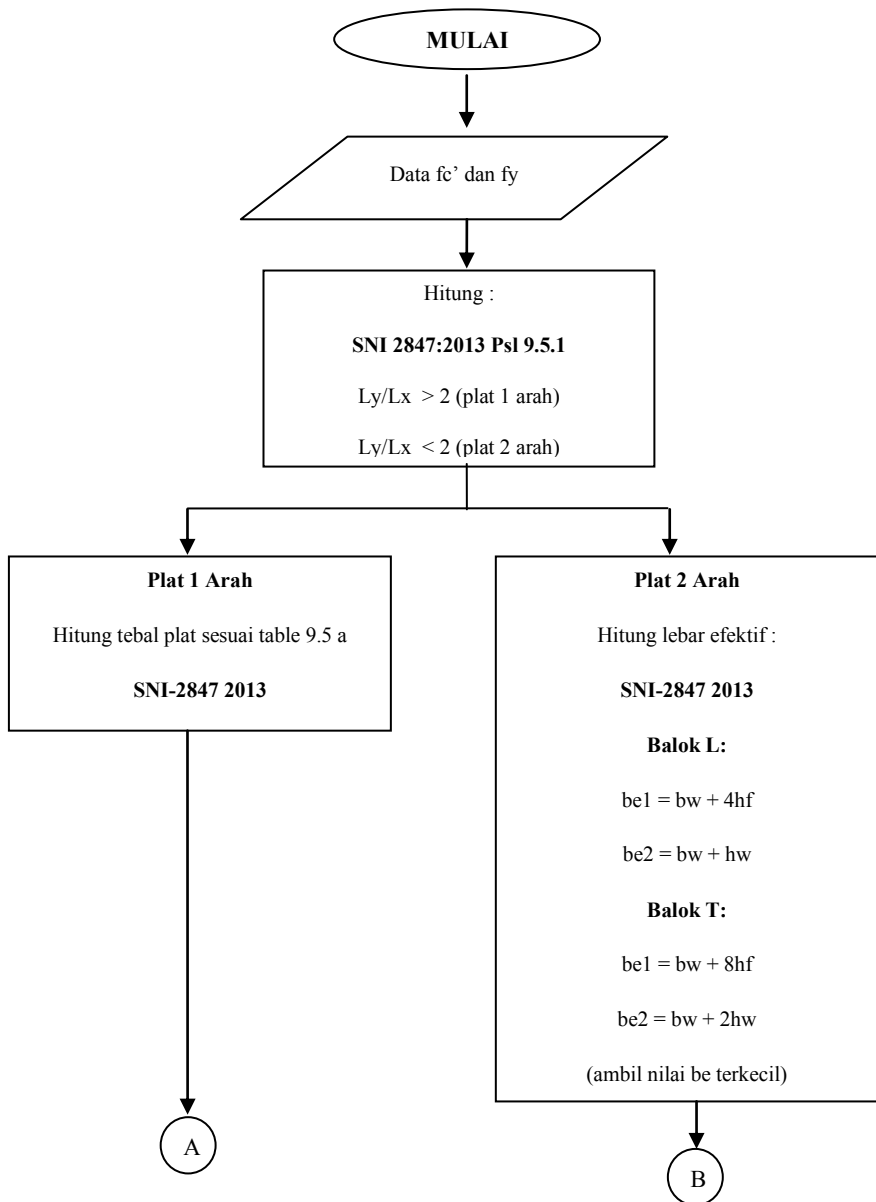
$$\begin{aligned}
 h^4 &\geq 379,69 \text{ cm}^3 \cdot 400 \text{ cm} \cdot 12 \\
 h^4 &\geq 1822500 \text{ cm}^4 \\
 h &\geq 36,74 \text{ cm} \quad \approx \quad 40 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

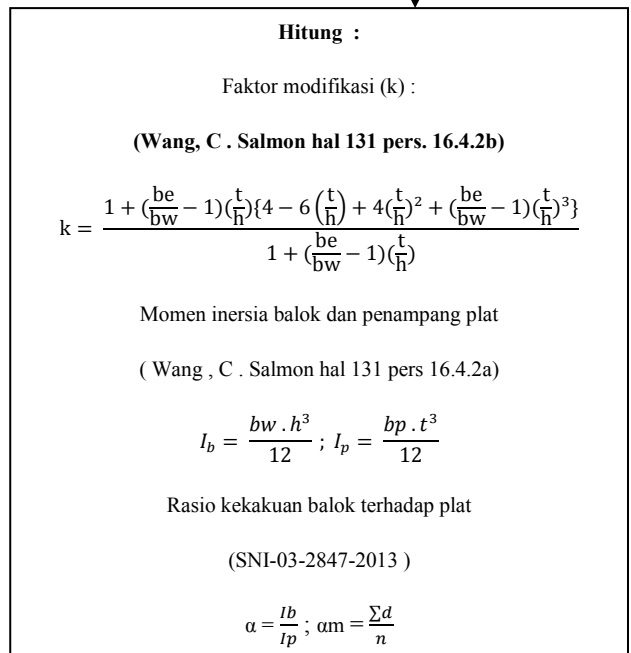
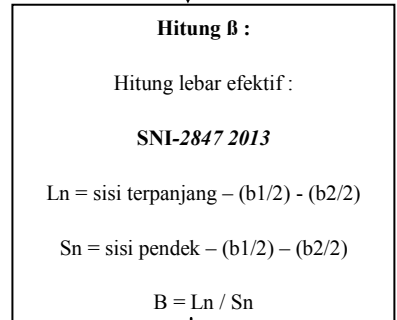
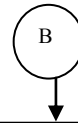
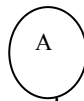
- Maka direncanakan dimensi kolom dengan ukuran **40/40 cm**
- Hasil akhir perencanaan :

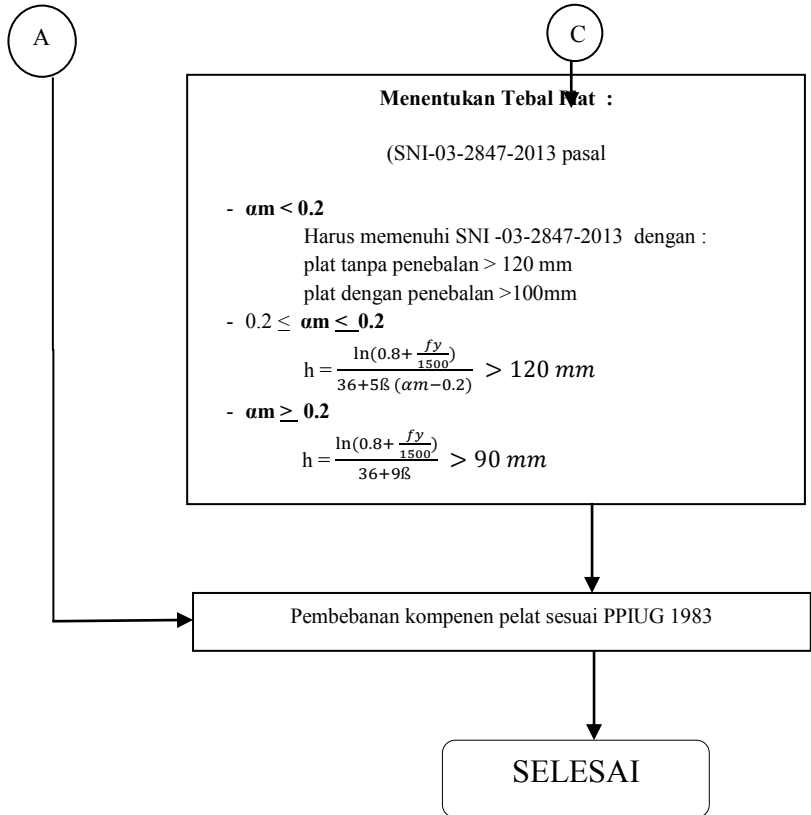


4.1.3 Perencanaan Dimensi Pelat

Perencanaan pelat pada gedung Rektorat UNESA ini terdiri dari pelat lantai dan pelat atap, untuk itu terlebih dahulu perlu diketahui dimensi pelat yang akan digunakan . Berikut diagram alur perencanaan dimensi pelat :





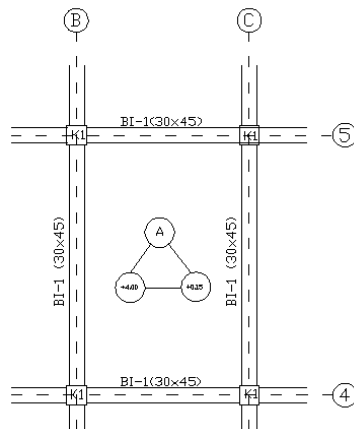


4.1.3.1 Perencanaan Dimensi Pelat Lantai

➤ Data Perencanaan :

- Tipe Pelat : Pelat A
- Kuat tekan beton, f_c' : 25 Mpa
- Kuat leleh tulangan lentur, f_y : 400 Mpa
- Modulus elastisitas beton : $4700 \sqrt{f_c} = 23500 \text{ Mpa}$
- Direncanakan tebal pelat : 15 cm
- Bentang sumbu panjang (L_y) : 600 cm
- Bentang sumbu pendek (L_x) : 400 cm
- Balok BI-1 (kiri-atas-bawah-kanan) : 30 x 45 cm

➤ Gambar denah rencana



Gambar 4.1. 5 Pelat A yang ditinjau

➤ Perhitungan perencanaan

- Bentang bersih pelat sumbu panjang :

$$\begin{aligned}
 L_n &= L_y - \left(\frac{bw}{2} + \frac{bw}{2} \right) \\
 &= 600 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) \\
 &= 570 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek :

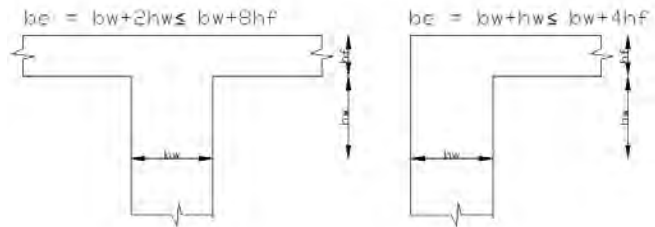
$$\begin{aligned} S_n &= Lx - \left(\frac{bw}{2} + \frac{bw}{2} \right) \\ &= 400 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) \\ &= 370 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{570}{370} = 1,541 < 2 \quad (\text{Pelat 2 Arah})$$

- Menentukan lebar efektif flens

Berdasarkan pasal 15.2.4 SNI 03-2847-2002, lebar efektif untuk balok T dan L adalah sebagai berikut

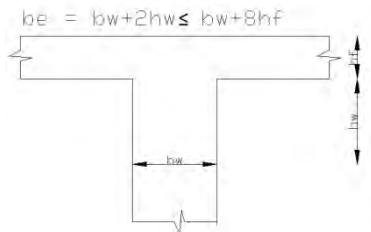


Gambar 4.1. 6 Lebar efektif pada balok T dan L

- Tinjauan balok 30 x 45 (atas)≤

Lebar efektif be

1. $b_e = b_w + 2 h_w$
 $b_e = 30 + (2 \times (45 - 15))$
 $= 90 \text{ cm}$
2. $b_e = b_w + 8 h_f$
 $= 30 + (8 \times 15)$
 $= 150 \text{ cm}$
3. be pakai = 90 cm



- Faktor modifikasi k (*Desain Beton Bertulang; C.K Wang & Salmon edisi keempat hal 131*)

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} \\
 &= \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{45}\right) + 4 \left(\frac{15}{45}\right)^2 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)} \\
 &= 1,607
 \end{aligned}$$

- Momen inersia penampang T

$$\begin{aligned}
 I_b &= \frac{bw \times h^3}{12} \times k \\
 &= \frac{30 \times 45^3}{12} \times 1,607 \\
 &= 366187,5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen inersia lajur pelat

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{12} \times bp \times t^3 \\
 &= \frac{(0,5 \times (570 + 370) \times 15^3)}{12} \\
 &= 132187,5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{I_b \times E_{cb}}{I_p \times E_{cp}} \geq 1 \\
 \alpha &= 2,77 \geq 1 \quad \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Tinjauan balok BI-1 30 x 45 (bawah)

Lebar efektif be

1. $be = bw + 2 hw$

$$\begin{aligned}
 be &= 30 + (2 \times (45 - 15)) \\
 &= 90 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

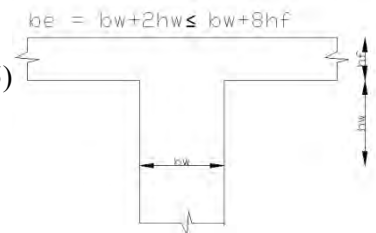
2. $be = bw + 8 hf$

$$\begin{aligned}
 &= 30 + (8 \times 15) \\
 &= 150 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

3. be pakai = 90 cm

- Faktor modifikasi k (*Desain Beton Bertulang; C.K Wang & Salmon edisi keempat hal 131*)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$



$$= \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{45}\right) + 4 \left(\frac{15}{45}\right)^2 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)}$$

$$= 1,607$$

➤ Momen inersia penampang T

$$I_b = \frac{b_w \times h^3}{12} \times k$$

$$= \frac{30 \times 45^3}{12} \times 1,607$$

$$= 366187,5 \text{ cm}^4$$

➤ Momen inersia lajur pelat

$$I_p = \frac{1}{12} \times b_p \times t^3$$

$$= \frac{(0,5 \times (570 + 370)) \times 15^3}{12}$$

$$= 132187,5 \text{ cm}^4$$

➤ Rasio kekakuan balok terhadap pelat

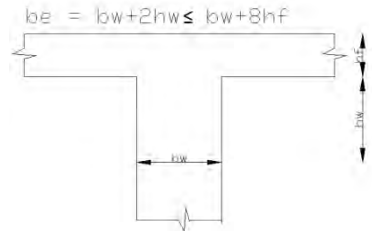
$$\alpha = \frac{I_b \times E_{cb}}{I_p \times E_{cp}} \geq 1$$

$$\alpha = 2,77 \geq 1 \quad (\text{Memenuhi})$$

• Tinjauan balok BI-1 30 x 45 (kiri)

Lebar efektif b_e

1. $b_e = b_w + 2 h_w$
 $b_e = 30 + (2 \times (45 - 15))$
 $= 90 \text{ cm}$
2. $b_e = b_w + 8 h_f$
 $= 30 + (8 \times 15)$
 $= 150 \text{ cm}$
3. $b_e \text{ pakai} = 90 \text{ cm}$



➤ Faktor modifikasi k (*Desain Beton Bertulang; C.K Wang & Salmon edisi keempat hal 131*)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{45}\right) + 4 \left(\frac{15}{45}\right)^2 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)}$$

$$= 1,607$$

- Momen inersia penampang T

$$I_b = \frac{b_w \times h^3}{12} \times k$$

$$= \frac{30 \times 45^3}{12} \times 1,607$$

$$= 366187,5 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat

$$I_p = \frac{1}{12} \times b_p \times t^3$$

$$= \frac{(0,5 \times (570 + 370)) \times 15^3}{12}$$

$$= 132187,5 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

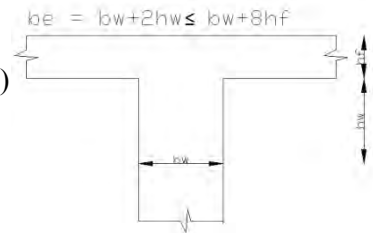
$$\alpha = \frac{I_b \times E_{cb}}{I_p \times E_{cp}} \geq 1$$

$$\alpha = 2,77 \geq 1 \quad (\text{Memenuhi})$$

- Tinjauan Balok BI-1 30 x 45 (kanan)

Lebar efektif b_e

1. $b_e = b_w + 2 h_w$
 $b_e = 30 + (2 \times (45 - 15))$
 $= 90 \text{ cm}$
2. $b_e = b_w + 8 h_f$
 $= 30 + (8 \times 15)$
 $= 150 \text{ cm}$



3. $b_e \text{ pakai} = 90 \text{ cm}$

- Faktor modifikasi k (*Desain Beton Bertulang; C.K Wang & Salmon edisi keempat hal 131*)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{45}\right) + 4 \left(\frac{15}{45}\right)^2 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)}$$

$$= 1,607$$

➤ Momen inersia penampang T

$$I_b = \frac{bw \times h^3}{12} \times k$$

$$= \frac{30 \times 45^3}{12} \times 1,607$$

$$= 366187,5 \text{ cm}^4$$

➤ Momen inersia lajur pelat

$$I_p = \frac{1}{12} \times bp \times t^3$$

$$= \frac{(0,5 \times (570 + 370)) \times 15^3}{12}$$

$$= 132187,5 \text{ cm}^4$$

➤ Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha = \frac{I_b \times E_{cb}}{I_p \times E_{cp}} \geq 1$$

$$\alpha = 2,77 \geq 1 \quad (\text{Memenuhi})$$

- Dari keempat rasio kekakuan balok terhadap pelat diatas didapatkan rata-rata α_m

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$= \frac{2,77 + 2,77 + 2,77 + 2,77}{4} = 2,77$$

Berdasarkan pasal 11.5.3.c SNI 03-2847-2002 tebal pelat untuk kekakuan rata-rata balok terhadap pelat $\alpha_m \geq 2$ ketebalan minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 5 \beta (\alpha_m - 0,2)} \geq 15 \text{ cm}$$

$$= 12,193 \text{ cm} \quad (\text{Memenuhi})$$

- Hasil akhir perencanaan

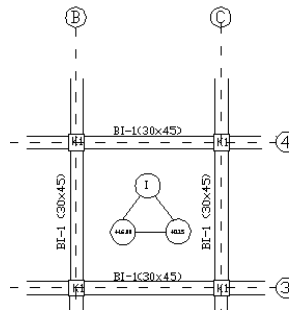
Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa perencanaan dimensi tebal pelat lantai 15 cm **memenuhi**, jadi dipakai tebal pelat **150 mm**

4.1.3.2 Perencanaan Dimensi Pelat Atas

➤ Data Perencanaan :

- Tipe Pelat : Pelat J
- Kuat tekan beton, f_c' : 25 Mpa
- Kuat leleh tulangan lentur, f_y : 400 Mpa
- Modulus elastisitas beton : $4700 \sqrt{f_c}$
= 23500 Mpa
- Direncanakan tebal pelat : 15 cm
- Bentang sumbu panjang (L_y) : 400 cm
- Bentang sumbu pendek (L_x) : 400 cm
- Balok BI-1 (kiri-atas-bawah-kanan): 30 x 45 cm

➤ Gambar denah rencana



Gambar 4.1. 7 Pelat I yang ditinjau

➤ Perhitungan perencanaan

- Bentang bersih pelat sumbu panjang :

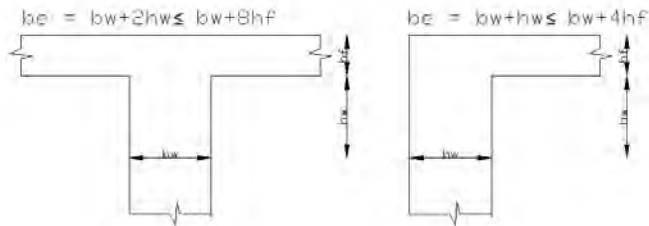
$$\begin{aligned}
 L_n &= L_y - \left(\frac{bw}{2} + \frac{bw}{2} \right) \\
 &= 400 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) \\
 &= 370 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek :

$$\begin{aligned}
 S_n &= L_x - \left(\frac{bw}{2} + \frac{bw}{2} \right) \\
 &= 400 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) \\
 &= 370 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{370}{370} = 1 < 2 \quad (\text{Pelat 2 Arah})$$
- Menentukan lebar efektif flens
 Berdasarkan pasal 15.2.4 SNI 03-2847-2002, lebar efektif untuk balok T dan L adalah sebagai berikut

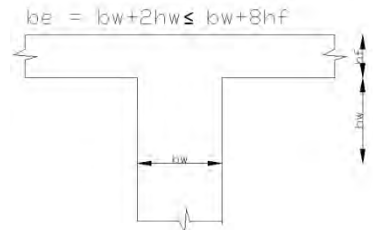


Gambar 4.1. 8 Lebar efektif pada balok T dan L

- Tinjauan balok 30 x 45 (atas)

Lebar efektif b_e

1. $b_e = b_w + 2 h_w$
 $b_e = 30 + (2 \times (45 - 15))$
 $= 90 \text{ cm}$
2. $b_e = b_w + 8 h_f$
 $= 30 + (8 \times 15)$
 $= 150 \text{ cm}$
3. $b_e \text{ pakai} = 90 \text{ cm}$



- Faktor modifikasi k (*Desain Beton Bertulang; C.K Wang & Salmon edisi keempat hal 131*)

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} \\
 &= \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{45}\right) + 4 \left(\frac{15}{45}\right)^2 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)} \\
 &= 1,607
 \end{aligned}$$

- Momen inersia penampang T

$$\begin{aligned}
 I_b &= \frac{bw \times h^3}{12} \times k \\
 &= \frac{30 \times 45^3}{12} \times 1,607 \\
 &= 366187.5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen inersia lajur pelat

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{12} \times bp \times t^3 \\
 &= \frac{(0,5 \times (370 + 370) \times 15^3)}{12} \\
 &= 104062.5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

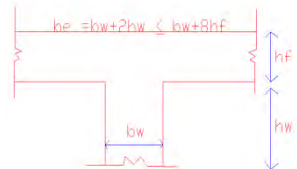
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{I_b \times E_{cb}}{I_p \times E_{cp}} \geq 1 \\
 \alpha &= 3,51 \geq 1 \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Tinjauan balok BI-1 30 x 45 (bawah)

Lebar efektif be

1. be = bw + 2 hw
be = 30 + (2 x (45 - 15))
= 90 cm
2. be = bw + 8 hf
= 30 + (8 x 15)
= 150 cm
3. be pakai = 90 cm



- Faktor modifikasi k (*Desain Beton Bertulang; C.K Wang & Salmon edisi keempat hal 131*)

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} \\
 &= \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{45}\right) + 4 \left(\frac{15}{45}\right)^2 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)} \\
 &= 1,607
 \end{aligned}$$

- Momen inersia penampang T

$$\begin{aligned}
 I_b &= \frac{b_w \times h^3}{12} \times k \\
 &= \frac{30 \times 45^3}{12} \times 1,607 \\
 &= 366187.5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen inersia lajur pelat

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{12} \times b_p \times t^3 \\
 &= \frac{(0,5 \times (370 + 370) \times 15^3)}{12} \\
 &= 104062.5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha = \frac{I_b \times E_{cb}}{I_p \times E_{cp}} \geq 1$$

$$\alpha = 3,51 \geq 1 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- Tinjauan balok BI-1 30 x 45 (kiri)

Lebar efektif b_e

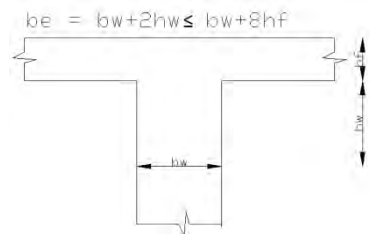
$$1. \quad b_e = b_w + 2 h_w$$

$$\begin{aligned}
 b_e &= 30 + (2 \times (45 - 15)) \\
 &= 90 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$2. \quad b_e = b_w + 8 h_f$$

$$\begin{aligned}
 &= 30 + (8 \times 15) \\
 &= 150 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$3. \quad b_e \text{ pakai } = 90 \text{ cm}$$



- Faktor modifikasi k (*Desain Beton Bertulang; C.K Wang & Salmon edisi keempat hal 131*)

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} \\
 &= \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{45}\right) + 4 \left(\frac{15}{45}\right)^2 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)} \\
 &= 1,607
 \end{aligned}$$

- Momen inersia penampang T

$$\begin{aligned}
 I_b &= \frac{bw \times h^3}{12} \times k \\
 &= \frac{30 \times 45^3}{12} \times 1,607 \\
 &= 366187.5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen inersia lajur pelat

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{12} \times bp \times t^3 \\
 &= \frac{(0,5 \times (370 + 370) \times 15^3)}{12} \\
 &= 104062.5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

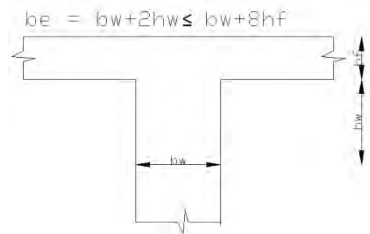
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{I_b \times Ecb}{I_p \times Ecp} \geq 1 \\
 \alpha &= 3,51 \geq 1 \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Tinjauan Balok BI-1 30 x 45 (kanan)

Lebar efektif be

1. be = bw + 2 hw
be = 30 + (2 x (45 - 15))
= 90 cm
2. be = bw + 8 hf
= 30 + (8 x 15)
= 150 cm
3. be pakai = 90 cm



- Faktor modifikasi k (*Desain Beton Bertulang; C.K Wang & Salmon edisi keempat hal 131*)

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} \\
 &= \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{45}\right) + 4 \left(\frac{15}{45}\right)^2 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{45}\right)} \\
 &= 1,607
 \end{aligned}$$

- Momen inersia penampang T

$$\begin{aligned}
 I_b &= \frac{bw \times h^3}{12} \times k \\
 &= \frac{30 \times 45^3}{12} \times 1,607 \\
 &= 366187,5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen inersia lajur pelat

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{12} \times bp \times t^3 \\
 &= \frac{(0,5 \times (370 + 370) \times 15^3)}{12} \\
 &= 104062,5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{I_b \times E_{cb}}{I_p \times E_{cp}} \geq 1 \\
 \alpha &= 3,51 \geq 1 \quad \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Dari keempat rasio kekakuan balok terhadap pelat diatas didapatkan rata-rata α_m

$$\begin{aligned}
 \alpha_m &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} \\
 &= \frac{3,51 + 3,51 + 3,51 + 3,51}{4} = 3,51
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pasal 11.5.3.c SNI 03-2847-2002 tebal pelat untuk kekakuan rata-rata balok terhadap pelat $\alpha_m \geq 2$ ketebalan minimum tidak boleh kurang dari :

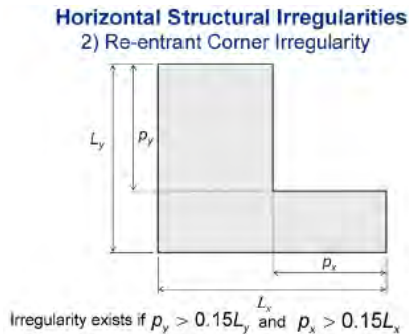
$$\begin{aligned}
 h &= \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1500})}{36 + 5 \beta (\alpha_m - 0,2)} \geq 15 \text{ cm} \\
 &= 8,7704 \text{ cm} \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Hasil akhir perencanaan

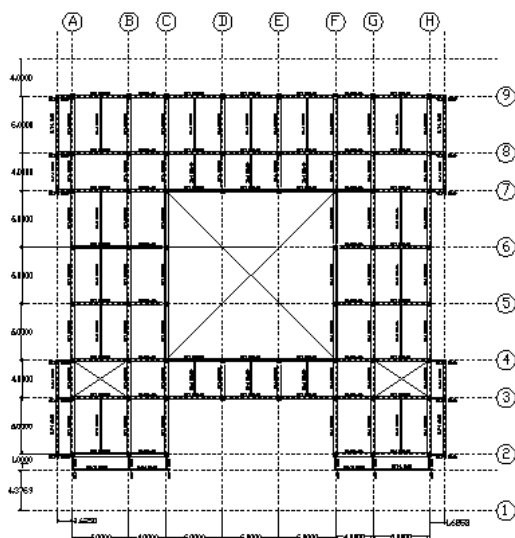
Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa perencanaan dimensi tebal pelat lantai 15 cm **memenuhi**, jadi dipakai tebal pelat **150 mm**

4.2 Perhitungan Gempa

Perhitungan beban gempa pada bangunan ini dihitung berdasarkan analisa respon spektrum. Ada beberapa persyaratan yang harus terpenuhi. Gedung Rektorat Unesa termasuk gedung tidak beraturan, Klasifikasi tersebut didasarkan pada konfigurasi horisontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung sesuai SNI 1726-2012 Tabel 10. Ketidakberaturan horisontal pada struktur.



Gambar 4.2 1 ketidakberaturan sudut dalam



Gambar 4.2 2 Denah Lantai 3

Dilihat dari gambar 4.2.2 di peroleh:

kategori tipe 2

$P_y = 6 \text{ m}$

$L_y = 38 \text{ m}$

$P_y > 0,15 L_y$

$6 \text{ m} > 0,15 \times 38 \text{ m}$

$6 \text{ m} > 5,7 \text{ m}$

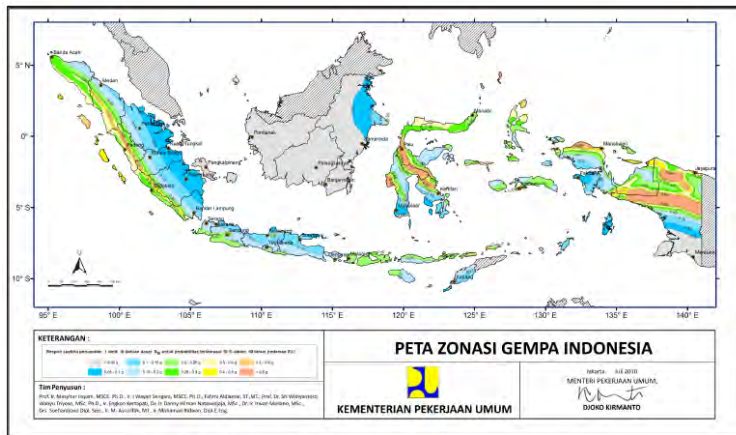
Bangunan di katakan tidak beraturan apabila $P_y > 0,15 L_y$

Oleh karena itu struktur gedung rektorat UNESA termasuk dalam ketidakberaturan sudut dalam.

4.2.1 Respons Spektrum Gempa rencana

Respons Spektrum adalah grafik yang menunjukkan nilai besaran respons struktur dengan periode (waktu getar) tertentu. Perhitungan pengaruh gempa diperhitungan sebagai gaya yang membebani struktur

Bangunan ini terletak dalam wilayah Surabaya dan perencanaan perhitungan gempa sesuai dengan **SNI 03-1726-2012**. Perhitungan gempa dasar dilakukan dengan menganalisis gaya gempa yang dihasilkan pada analisis respons dinamis, dengan bantuan program SAP 2000. Dalam proses perhitungannya dilakukan dengan cara memasukkan grafik Respons Spektrum gempa yang terdapat dalam peraturan SNI 03-1726-2012 sesuai dengan wilayah gempa daerah Surabaya dengan kondisi tanah yaitu tanah sedang. Dibawah ini adalah gambar Peta Hazard Indonesi untuk periode gempa 500 tahun

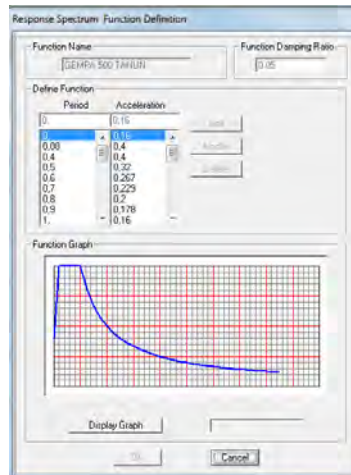


Gambar 4.2 3 Peta Hazard Indonesia

4.2.2 Input perhitungan respon spektrum

Tabel 4.2 1 respon spektrum

T (detik)	T (detik)	Sa (g)
0	0	0,160
To	0,080	0,400
Ts	0,400	0,400
Ts+0,1	0,500	0,320
Ts+0,2	0,600	0,267
Ts+0,3	0,700	0,229
Ts+0,4	0,800	0,200
Ts+0,5	0,900	0,178
Ts+0,6	1,000	0,160
Ts+0,7	1,100	0,145
Ts+0,8	1,200	0,133
Ts+0,9	1,300	0,123
Ts+1,0	1,400	0,114
Ts+1,1	1,500	0,107
Ts+1,2	1,600	0,100
Ts+1,3	1,700	0,094
Ts+1,4	1,800	0,089
Ts+1,5	1,900	0,084
Ts+1,6	2,000	0,080
Ts+1,7	2,100	0,076
Ts+1,8	2,200	0,073
Ts+1,9	2,300	0,070
Ts+2,0	2,400	0,067



Gambar 4.2.4 Input kurva Respons Spektrum pada Permodelan SAP

4.2.3 Faktor Keutamaan

Gedung Rektorat Unesa Lidah ini berfungsi sebagai perkantoran, sehingga sesuai SNI 03-1726-2012 Tabel 2, diperoleh nilai faktor keutamaan (I) = 1

4.2.4 Faktor Reduksi Gempa

Gedung Rektorat Unesa Lidah dalam perhitungan strukturnya menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah dengan rangka beton bertulang. Sehingga sesuai SNI 03-1726-2012 tabel 9, diperoleh nilai faktor reduksi gempa (R) = 5.

4.2.5 Arah Pembebanan Gempa Respons Dinamik

Untuk mensimulasikan arah pengaruh Gempa Rencana maka besaran beban gempa:

- Beban Gempa Respons Spectrum X (Q_X): 100% untuk arah X dan 30% untuk arah Y
- Beban Gempa Respons Spectrum Y (Q_Y): 100% untuk arah Y dan 30% untuk arah X

Beban Gempa Respons Spectrum X

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: Set Def Name Modify/Show...

Load Case Type: Design...

Modal Combination:

- ☒ CQC GMC #1: GMC #2:
- ☐ SRSS
- ☐ Absolute
- ☐ GMC Periodic + Rigid Type:
- ☐ NRC 10 Percent
- ☐ Double Sum

Directional Combination:

- ☒ SRSS
- ☐ CQC3
- ☐ Absolute Scale Factor:

Modal Load Case:

Use Modes from this Modal Load Case:

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	GEMPA 500	1.962
Accel	U1	GEMPA 500	1.962

Add Modify Delete

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:

Modal Damping: Modify/Show...

OK Cancel

Gambar 4.2 5 Input Respons Spectrum Arah X pada Permodelan SAP2000

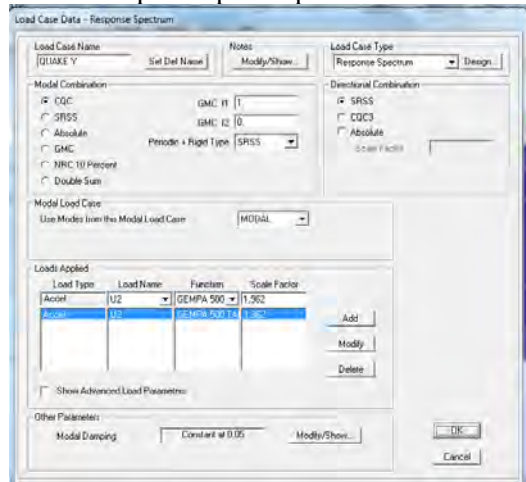
Dimana :

- I = 1 (Gedung Perhotelan)
- R = 5 (SRPMM)
- g = 9,81 m/det² (gravitasi)

Perhitungan :

$$U1 = 100 \% \times 9,81 \text{ m.det}^2 \times (1/5) = 1,962$$

Beban Gempa Respons Spectrum Y



Gambar 4.2 6 Input Respons Spectrum Arah Y pada Permodelan SAP2000
Dimana :

- I = 1 (Gedung Perhotelan)
- R = 5 (SRPMM)
- g = 9,81 m/det² (gravitasi)

Perhitungan :

$$U2 = 100 \% \times 9,81 \text{ m.det}^2 \times (1/5) = 1,962$$

4.2.6 Analisis Ragam Respons Spektrum

Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metode analisis respons dinamik harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa ragam efektif dalam menghasilkan respons total harus sekurang-kurangnya 90.

Setelah dilakukan analisis struktur dengan menggunakan program SAP 2000, jumlah kumulatif partisipasi massa pada ragam ke-9 mencapai 98.9% pada arah X dan 99.1% pada arah Y. Karena jumlah kumulatif partisipasi massa dalam

menghasilkan respons total sudah mencapai sekurang-kurangnya 90%, maka analisis dibatasi sampai ragam ke-9.

Tabel 4.2 Hasil total Partisipasi Massa pada ragam ke-9

OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
MODAL	Mode	1	1.320339	0.042	0.00001501	0.0000001633	0.042	0.00001501
MODAL	Mode	2	1.28286	0.728	0.0008901	0.0000002951	0.77	0.0009051
MODAL	Mode	3	1.259002	0.0008073	0.751	0.000002098	0.77	0.752
MODAL	Mode	4	0.436928	0.115	0.00000785	0.00000004829	0.886	0.752
MODAL	Mode	5	0.425896	0.00001213	0.123	0.00005602	0.886	0.875
MODAL	Mode	6	0.330351	0.025	0.00001665	0.00000001033	0.91	0.875
MODAL	Mode	7	0.258422	0.00007262	0.079	0.00006031	0.911	0.955
MODAL	Mode	8	0.225826	0.078	0.0001614	0.00000008466	0.989	0.955
MODAL	Mode	9	0.187537	0.00006331	0.036	0.001316	0.989	0.991

4.2.7 Kontrol Simpangan Antar Lantai Tingkat

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) seperti pada tabel 16 pada SNI 1726-2012

Tabel 4.2 3Simpangan Antar Lantai

Tabel 16 Simpangan antar lantai ijin, Δ_a

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025 h_{sx}$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^a	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Tabel 4.2 4Output SAP Join Displacements

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
6416	0,9D+0,3Ex+1Ey	Combination	Min	-0,004272	-0,013024	-0,00299	0,000125	-0,000274	-0,000025
6416	1,2D	Combination		-0,000044	0,000334	-0,003004	0,000719	-0,000336	-3,768E-07
6416	1,2D + 1L	Combination		-0,000066	0,00038	-0,003409	0,000762	-0,000364	-0,000001347
6417	1D+1L	Combination		-0,000067	0,000256	-0,00291	0,000644	0,000308	-0,000003918
6417	1,4D	Combination		-0,000064	0,000329	-0,003506	0,00084	0,000392	-0,000004217
6417	1,2D+1,6L	Combination		-0,00009	0,000316	-0,003654	0,00079	0,00038	-0,000005064
6417	0,9D+1Ex+0,3Ey	Combination	Max	0,013561	0,004966	-0,001937	0,000709	0,00032	0,000069
6417	0,9D+1Ex+0,3Ey	Combination	Min	-0,013644	-0,004543	-0,002571	0,000372	0,000184	-0,000075
6417	0,9D+1W	Combination		0,000601	0,000899	-0,002268	0,000551	0,00025	-0,00000437
6417	1,2D+1L+1EqX+0,3EqY	Combination	Max	0,013526	0,005058	-0,003094	0,000932	0,000431	0,000067
6417	1,2D+1L+1EqX+0,3EqY	Combination	Min	-0,013679	-0,004451	-0,003728	0,000595	0,000296	-0,000077
6417	1,2D+1L+0,3EqX+1EqY	Combination	Max	0,004164	0,013526	-0,002673	0,00118	0,000386	0,00002
6417	1,2D+1L+0,3EqX+1EqY	Combination	Min	-0,004317	-0,012919	-0,004149	0,000348	0,000341	-0,000029
6417	0,9D+0,3Ex+1Ey	Combination	Max	0,004199	0,013434	-0,001516	0,000956	0,000274	0,000022
6417	0,9D+0,3Ex+1Ey	Combination	Min	-0,004281	-0,013011	-0,002992	0,000124	0,00023	-0,000027
6417	1,2D	Combination		-0,000055	0,000282	-0,003005	0,00072	0,000336	-0,000003614
6417	1,2D + 1L	Combination		-0,000077	0,000303	-0,003411	0,000764	0,000363	-0,000004521
			MAX	0,01357	0,013839				
			MIN	-0,01368	-0,013181				

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa hasil batas layan gedung maksimum adalah 13.68 mm

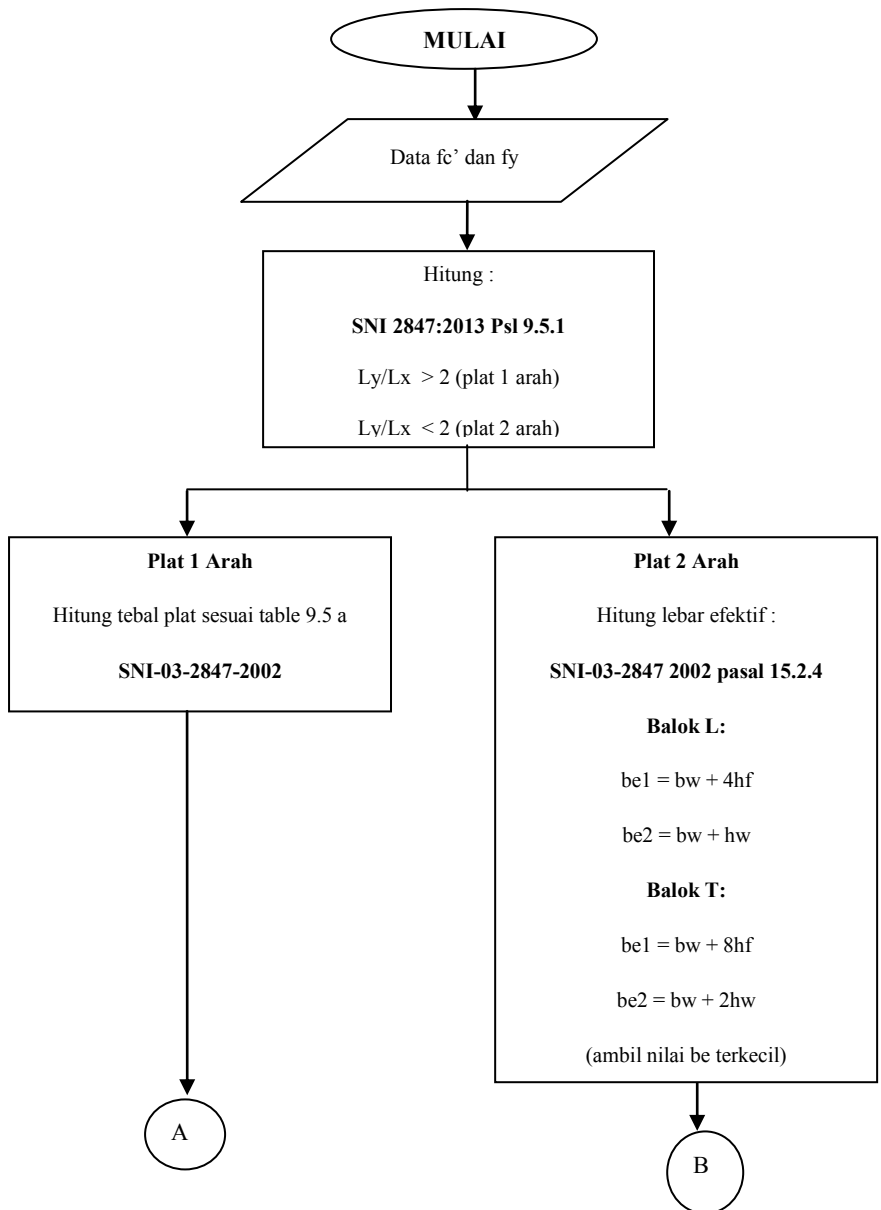
Syarat :

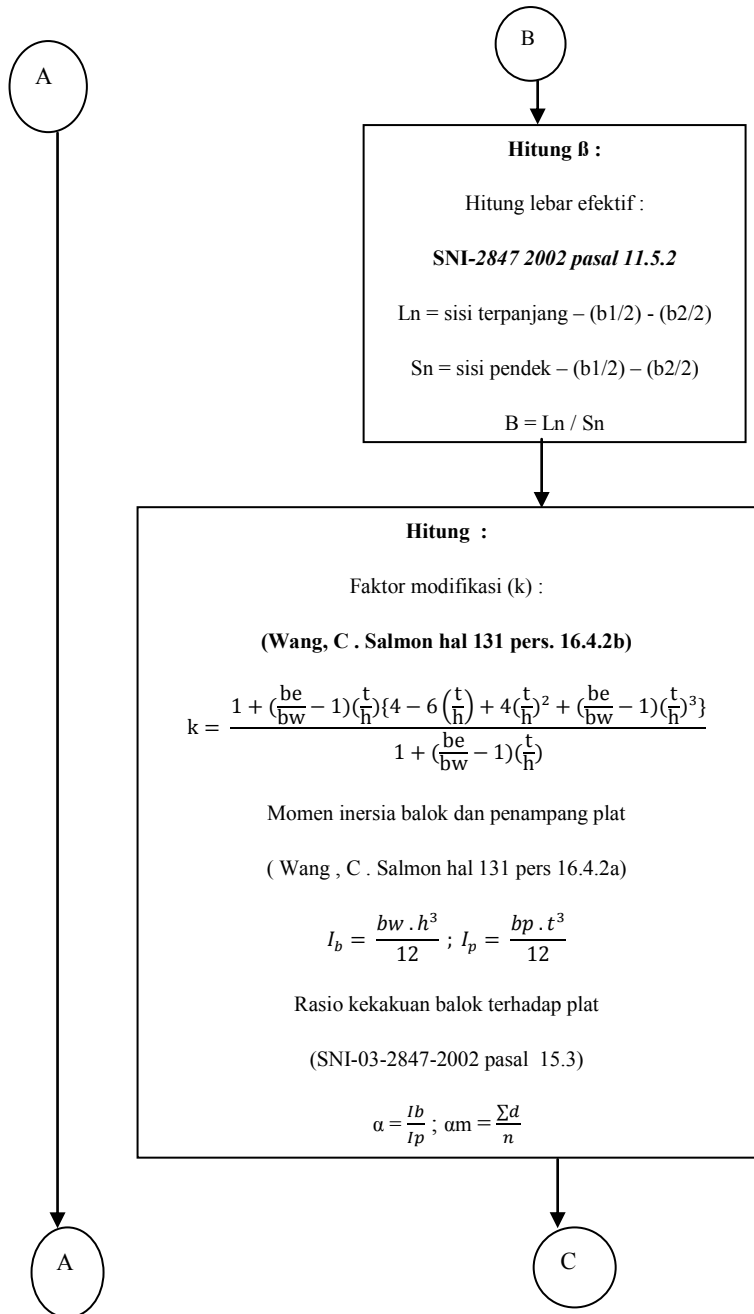
$$13.68 \text{ mm} < (0,025 \times \text{tinggi lantai})$$

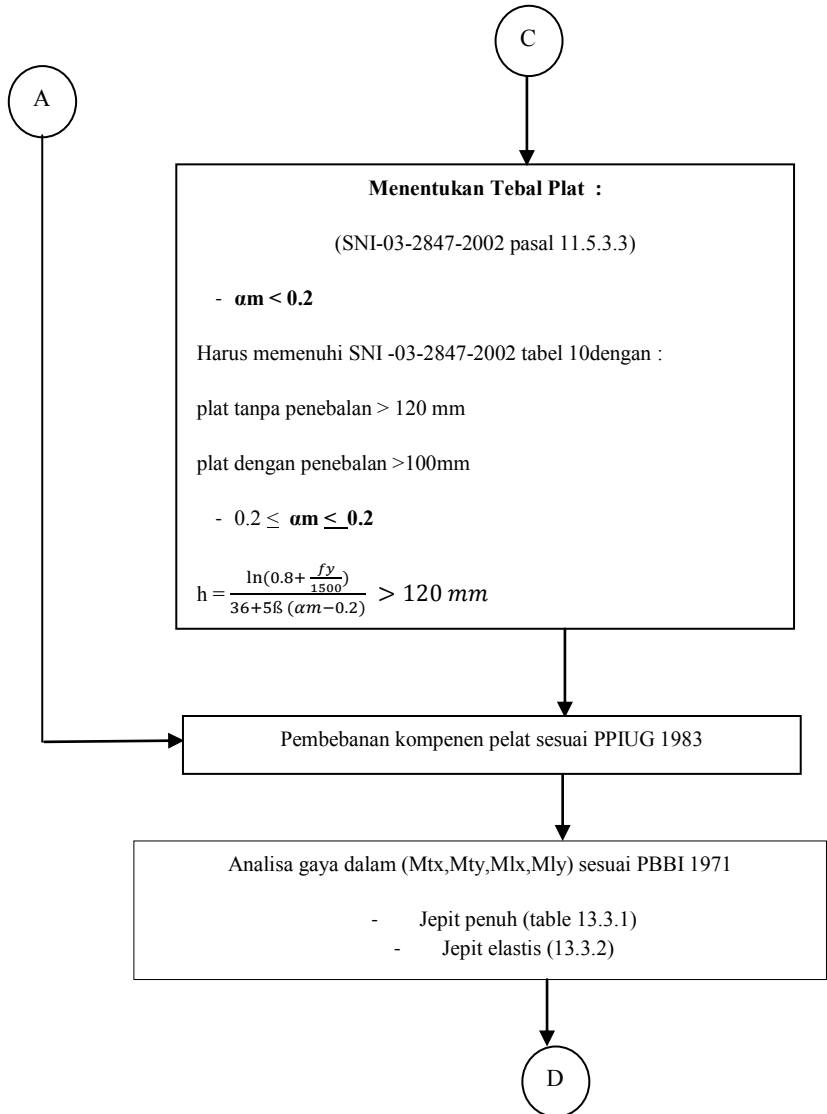
$$13.68 \text{ mm} < (0,025 \times 4000 \text{ mm})$$

$$13.68 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

4.3 Perhitungan Pelat









Hitung :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y'} \right)$$

(SNI-03-2847-2002 pasal 10.4.3)

$$\rho_{min} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

(SNI-03-2847-2002 pasal 12.3.3.)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

(Wang . C Salmon hal 55 pers 3.8.4a)

Hitung :

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dx^2} \text{ (penulangan arah x)}$$

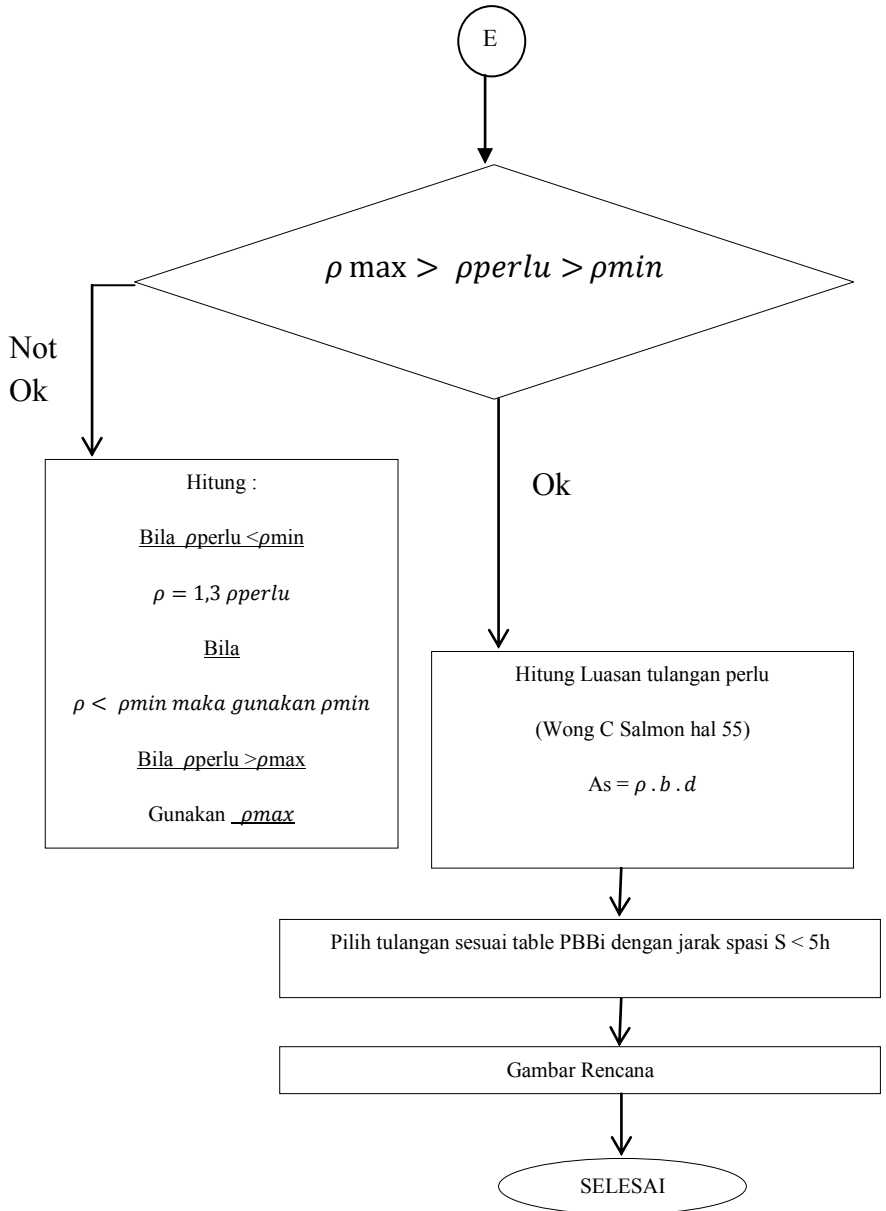
$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dy^2} \text{ (penulangan arah y)}$$

Dimana: dx = tebalplat-tebal selimut- $\frac{1}{2} \phi$

dy = tebalplat-tebal selimut- $\phi/2$ - ϕ (Wang C Salmon hal 55 pers 3.8.4b)

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right) \text{ (wang C salmon hal 55 pers 3.8.5)}$$





Bangunan Gedung Rektorat UNESA berfungsi sebagai salah satu tempat untuk memperlancar kegiatan akademik dan perkuliahan secara efektif dan nyaman. Dengan demikian gedung rektorat ini perlu direncanakan dengan baik sesuai dengan standar tata cara bangunan gedung.

➤ **Pembebanan Pelat Lantai**

Pelat Tipe A

• **Beban Mati (q_D)**

1. Berat Sendiri Pelat: $0,15\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 = 360\text{kg/m}^2$
 2. Spesi(1cm) : $1 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$
 3. Plafond+penggantung: $= 18 \text{ kg/m}^2$
 4. Instalasi listrik : $= 40 \text{ kg/m}^2$
 5. Tegel/keramik(1cm): $1 \times 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2$
- $$q_D = 463 \text{ kg/m}^2$$

• **Beban Hidup (q_L)**

Beban Hidup Bangunan Perkantoran $q_L = 250 \text{ kg/m}^2$

Sehingga diperoleh beban ultimate rencana (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &= 1,2 (463 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (250 \text{ kg/m}^2) \\ &= 955,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

➤ **Analisa Momen Pelat**

Momen-momen pelat dianggap jepit penuh, dihitung dengan Tabel 13.3.1 PBI-1971 (Pelat tipe II)

1. $M_{lx} = + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$
2. $M_{ly} = + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$
3. $M_{tx} = + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$
4. $M_{ty} = + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$

Dimana:

- | | |
|----------|-------------------------------------|
| M_{lx} | = Momen lapangan arah X |
| M_{ly} | = Momen lapangan arah Y |
| M_{tx} | = Momen tumpuan arah X |
| M_{ty} | = Momen tumpuan arah Y |
| l_x | = Bentang terpendek dari pelat |
| X | = Koefisien (tabel 13.3.1 PBI 1971) |

➤ Penulangan Pelat

❖ Tipe Pelat A

a. Data-data perencanaan

Tipe pelat : A (Elv + 4,00 m)

As pelat : B-C/2-3

Mutu beton (f_c') : 25 Mpa

Mutu baja (f_y) : 400 Mpa

Tebal pelat : 150 mm

Tebal selimut beton : 20 mm

Ø Tul. Lentur: 10 mm

Ø Tul. susut : 8 mm

β_1 : 0,85

ϕ : 0,8

(karena $17 \text{ Mpa} < f_c' < 28 \text{ Mpa}$)

SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3

$\frac{L_y}{L_x} = \frac{\text{meter}}{\text{meter}} : 1,5 < 2$ (Two way slab)

b. Perhitungan momen di pelat

$$\begin{aligned} M_{lx} &= + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X \\ &= + 0.001 \cdot 955,6 \text{ kg/m}^2 \cdot (4\text{m})^2 \cdot 36 \\ &= 550,4 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X \\ &= + 0.001 \cdot 955,6 \text{ kg/m}^2 \cdot (4\text{m})^2 \cdot 17 \\ &= 259,9 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X \\ &= + 0.001 \cdot 955,6 \text{ kg/m}^2 \cdot (4\text{m})^2 \cdot 76 \\ &= 1162 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X \\ &= + 0.001 \cdot 955,6 \text{ kg/m}^2 \cdot (4\text{m})^2 \cdot 57 \\ &= 871,5 \text{ kgm} \end{aligned}$$

c. Tebal Efektif Pelat

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - 1/2 \text{ Ø} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (1/2 \times 10\text{mm}) \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - \text{Ø} - 1/2 \text{ Ø} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (1/2 \times 10\text{mm}) \end{aligned}$$

$$= 115 \text{ mm}$$

d. Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,5 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,5 \times 0,027 \\ &= 0,0135 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal B.8.4.2)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

• Tulangan Tumpuan Arah X

$$M_{utx} = 1162,0096 \text{ kgm} = 11620096 \text{ Nmm}$$

$$M_{ntx} = \frac{M_{utx}}{\phi} = \frac{11620096}{0,8} = 14525120 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_{ntx}}{b \cdot d_x^2} = \frac{11620096}{1000 \cdot 125^2} = 0,93$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,93}{400}} \right) \\ &= 0,0024 \end{aligned}$$

$$P_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0024 < 0,0135 \text{ (Tidak Ok)}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, Pasal 12.5.3, maka:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Pakai}} &= 1,3 \times \rho_{\text{perlu}} \\ &= 1,3 \times 0,0024 \\ &= 0,0031 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As } \rho_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 125 \\ &= 437,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2.h \\ &\leq 2.150\text{mm} \\ &\leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10, sehingga jarak antar tulangan:

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{437,50 \text{ mm}^2} = 179 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 179 \text{ mm} < 300\text{mm} \quad (\text{Ok})$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø10-150 mm

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} \\ &= 523,33 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 437,50 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Tulangan Tumpuan Arah Y

$$\text{Mutu} = 871,5072 \text{ kgm} = 8.715.072 \text{ N-mm}$$

$$\text{Mntu} = \frac{\text{Mutu}}{\phi} = \frac{8.715.072}{0,8} = 10.893.840 \text{ N-mm}$$

$$R_n = \frac{\text{Mntu}}{b \cdot d_y^2} = \frac{10.893.840}{1000 \cdot 115^2} = 0,82$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,82}{400}} \right) \\ &= 0,0021 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0021 < 0,0135 \text{ (Tidak Ok)}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, Pasal 12.5.3, maka

$$\begin{aligned} \rho_{\text{pakai}} &= 1,3 \times \rho_{\text{perlu}} \\ &= 1,3 \times 0,0021 \\ &= 0,00273 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 115 \\ &= 402,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2.h \\ &\leq 2.150\text{mm} \\ &\leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10, sehingga jarak antar tulangan:

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{402,50 \text{ mm}^2} = 199 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 199 \text{ mm} < 300\text{mm} \text{ (Ok)}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø10-150 mm

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} \\ &= 523,33 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 402,50 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Tulangan Lapangan Arah X

$$M_{ulx} = 550,4256 \text{ kgm} = 5.504.256 \text{ Nmm}$$

$$M_{nlx} = \frac{M_{ulx}}{\phi} = \frac{5.504.256}{0,8} = 6.880.320 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_{nlx}}{b \cdot d_x^2} = \frac{6.880.320}{1000 \cdot 125^2} = 0,44$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,44}{400}} \right) \\ &= 0,0011 \end{aligned}$$

$$P_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0,0035 > 0,0011 < 0,0135 \text{ (Tidak Ok)}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, Pasal 12.5.3, maka:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{pakai}} &= 1,3 \times \rho_{\text{perlu}} \\ &= 1,3 \times 0,0011 \\ &= 0,00143 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \rho_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 125 \\ &= 437,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 2.h \\ &\leq 2.150 \text{ mm} \\ &\leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10, sehingga jarak antar tulangan:

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{437,50 \text{ mm}^2} = 179 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 179 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø10-150 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} \\ &= 523,33 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 437,50 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Tulangan Lapangan Arah Y

$$\text{Muly} = 259,9232 \text{ kgm} = 2.599.232 \text{ N-mm}$$

$$\text{Mnly} = \frac{\text{Muly}}{\phi} = \frac{2.599.232}{0,8} = 3.249.040 \text{ N-mm}$$

$$R_n = \frac{\text{Mnly}}{b \cdot d_y^2} = \frac{3.249.040}{1000 \cdot 115^2} = 0,25$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,25}{400}} \right) \\ &= 0,0006 \end{aligned}$$

$$P_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0,0035 > 0,0006 < 0,0135 \quad (\text{Tidak Ok})$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, Pasal 12.5.3, maka

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Pakai}} &= 1,3 \times \rho_{\text{perlu}} \\ &= 1,3 \times 0,0006 \\ &= 0,00078 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \rho_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\
 &= 0,0035 \times 1000 \times 115 \\
 &= 402,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &\leq 2.h \\
 &\leq 2.150\text{mm} \\
 &\leq 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10, sehingga jarak antar tulangan:

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{402,5 \text{ mm}^2} = 195 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 195 \text{ mm} < 300\text{mm} \quad (\text{Ok})$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø10-150 mm

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} \\
 &= 523,33 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 402,5 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{OK})
 \end{aligned}$$

- Tulangan susut dan suhu
Direncanakan D tulangan 8 mm

$$\begin{aligned}
 A_s &= 0,002 \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 150 \\
 &= 300 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 8^2 \cdot 1000}{300 \text{ mm}^2} \\
 &= 167,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{max}} \leq 5 h \text{ atau } \leq 50 \text{ m m}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.2)

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &\leq 5 h \\
 &\leq 5 \times 150 \text{ mm} \\
 &\leq 750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{perlu}} = 167,47 \text{ mm} < S_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan D8-150mm

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 8^2 \cdot 1000}{150} \\ &= 334,933 \text{ mm}^2 > A_s \text{ susut} \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

Pelat Tipe B

- Beban Mati (q_D)

1. Berat Sendiri Pelat: $0,15\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 = 360 \text{ kg/m}^2$
 2. Spesi(1cm) : $1 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$
 3. Plafond+penggantung: $= 18 \text{ kg/m}^2$
 4. Instalasi listrik : $= 40 \text{ kg/m}^2$
 5. Tegel/keramik(1cm) : $1 \times 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2$
- $$q_D = 463 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Hidup (q_D)

Beban Hidup Bangunan Perkantoran $q_L = 250 \text{ kg/m}^2$

Sehingga diperoleh beban ultimate rencana (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &= 1,2 (463 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (250 \text{ kg/m}^2) \\ &= 955,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Analisa Momen Pelat

Momen-momen pelat dianggap jepit penuh, dihitung dengan Tabel 13.3.1 PBI-1971 (Pelat tipe II)

$$M_{lx} = + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{tx} = + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$$

Dimana:

M_{lx} = Momen lapangan arah X

M_{ly} = Momen lapangan arah Y

M_{tx} = Momen tumpuan arah X

M_{ty} = Momen tumpuan arah Y

l_x = Bentang terpendek dari pelat

- X = Koefisien (tabel 13.3.1 PBI 1971)
- Penulangan Pelat
 - ❖ Tipe Pelat B
 - a. Data-data perencanaan

Tipe pelat	: B (Elv + 4,00 m)
As pelat	: G-H/2-3
Mutu beton (f_c')	: 25 Mpa
Mutu baja (f_y)	: 400 Mpa
Tebal pelat	: 150 mm
Tebal selimut beton	: 20 mm
Ø Tul. Lentur	: 10 mm
Ø Tul. susut	: 8 mm
β_1	: 0,85
ϕ	: 0,8

(karena $17 \text{ Mpa} < f_c' < 28 \text{ Mpa}$)
 SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4 \text{ meter}}{4 \text{ meter}} = 1 < 2 \text{ (Two way slab)}$$
 - b. Perhitungan momen di pelat

M_{lx}	$= + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$
	$= + 0.001 \cdot 955,6 \text{ kg/m}^2 \cdot (4\text{m})^2 \cdot 21$
	$= 321,1 \text{ kgm}$
M_{ly}	$= + 0.001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$
	$= + 0.001 \cdot 955,6 \text{ kg/m}^2 \cdot (4\text{m})^2 \cdot 21$
	$= 321,1 \text{ kgm}$
M_{tx}	$= + 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$
	$= + 0.001 \cdot 955,6 \text{ kg/m}^2 \cdot (4\text{m})^2 \cdot 52$
	$= 795,0592 \text{ kgm}$
M_{ty}	$= + 0.001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot X$
	$= + 0.001 \cdot 955,6 \text{ kg/m}^2 \cdot (4\text{m})^2 \cdot 52$
	$= 795,0592 \text{ kgm}$
 - c. Tebal Efektif Pelat

dx	$= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - 1/2 \text{ Ø}$
	$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (1/2 \times 10\text{mm})$
	$= 125 \text{ mm}$
dy	$= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - \text{Ø} - 1/2 \text{ Ø}$

$$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (1/2 \times 10 \text{ mm})$$

$$= 115 \text{ mm}$$

d. Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,027$$

$$\rho_{\max} = 0,5 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,5 \times 0,027$$

$$= 0,0135$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal B.8.4.2)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

• Tulangan Tumpuan Arah X

$$M_{utx} = 795,0592 \text{ kgm} = 7.950.592 \text{ Nmm}$$

$$M_{ntx} = \frac{M_{utx}}{\phi} = \frac{7.950.592}{0,8} = 9.938.240 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_{ntx}}{b \cdot d_x^2} = \frac{9.938.240}{1000 \cdot 125^2} = 0,64$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)$$

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,64}{400}} \right) = 0,0016$$

$$P_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

0,0035 > 0,0016 < 0,0135 (Tidak Ok)

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, Pasal 12.5.3, maka

$$\rho_{\text{pakai}} = 1,33 \times \rho_{\text{perlu}}$$

$$= 1,33 \times 0,0016$$

$$= 0,0021$$

$$A_s \rho_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d_x$$

$$= 0,0035 \times 1000 \times 125$$

$$= 437,50 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} \leq 2 \cdot h$$

$$\leq 2.150 \text{ mm}$$

$$\leq 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan Ø10, sehingga jarak antar tulangan:

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{437,50 \text{ mm}^2} = 179 \text{ mm}$$

$$S = 179 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø10-150 mm

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,33 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 437,50 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{OK})$$

- Tulangan Tumpuan Arah Y

$$M_{\text{uty}} = 795,0592 \text{ kgm} = 7.950.592 \text{ N-mm}$$

$$M_{\text{nty}} = \frac{M_{\text{uty}}}{\phi} = \frac{7.950.592}{0,8} = 9.938.240 \text{ N-mm}$$

$$R_n = \frac{M_{\text{nty}}}{b \cdot d_y^2} = \frac{9.938.240}{1000 \cdot 115^2} = 0,75$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right) = \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,75}{400}} \right) = 0,0019$$

$$P_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0,0035 > 0,0019 < 0,0135 \text{ (Tidak Ok)}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, Pasal 12.5.3, maka

$$\begin{aligned} \rho_{\text{pakai}} &= 1,33 \times \rho_{\text{perlu}} \\ &= 1,33 \times 0,0019 \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 115 \\ &= 402,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 150 \text{ mm} \\ &\leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10, sehingga jarak antar tulangan:

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{402,50 \text{ mm}^2} = 199 \text{ mm}$$

$$S = 199 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø10-150 mm

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,33 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 402,50 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{OK})$$

- Tulangan Lapangan Arah X

$$M_{lx} = 321,0816 \text{ kgm} = 3.210.816 \text{ Nmm}$$

$$M_{nlx} = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{3.210.816}{0,8} = 4.013.520 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_{nlx}}{b \cdot d_x^2} = \frac{4.013.520}{1000 \cdot 125^2} = 0,26$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right) = \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,26}{400}} \right) = 0,0006$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0006 < 0,0135 \quad (\text{Tidak Ok})$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, Pasal 12.5.3, maka

$$\begin{aligned} \rho_{\text{pakai}} &= 1,33 \times \rho_{\text{perlu}} \\ &= 1,33 \times 0,0006 \\ &= 0,00086 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \rho_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 125 \\ &= 437,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2.150 \text{ mm} \\ &\leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10, sehingga jarak antar tulangan:

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{437,50 \text{ mm}^2} = 179 \text{ mm}$$

$$S = 179 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø10-150 mm

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,33 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 437,50 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{OK})$$

- Tulangan Lapangan Arah Y

$$M_{\text{uly}} = 321,0816 \text{ kgm} = 3.210.816 \text{ N-mm}$$

$$M_{\text{nly}} = \frac{M_{\text{uly}}}{\phi} = \frac{3.210.816}{0,8} = 4.013.520 \text{ N-mm}$$

$$R_n = \frac{M_{\text{nly}}}{b \cdot d_y^2} = \frac{4.013.520}{1000 \cdot 115^2} = 0,3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right) = \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,3}{400}} \right) = 0,0008$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0,0035 > 0,0008 < 0,0135 \text{ (Tidak Ok)}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, Pasal 12.5.3, maka

$$\begin{aligned} \rho_{\text{pakai}} &= 1,33 \times \rho_{\text{perlu}} \\ &= 1,33 \times 0,0035 \\ &= 402,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 115 \\ &= 402,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2.150 \text{ mm} \\ &\leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10, sehingga jarak antar tulangan:

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{402,5 \text{ mm}^2} = 195 \text{ mm}$$

$$S = 195 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø10-150 mm

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} \\ &= 523,33 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 402,5 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Tulangan susut dan suhu
Direncanakan D tulangan 8 mm

$$\begin{aligned} A_s &= 0,002 \times b \times h \\ &= 0,002 \times 1000 \times 150 \\ &= 300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 8^2 \cdot 1000}{300 \text{ mm}^2} \\ &= 167,47 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{max}} \leq 5 h \text{ atau } \leq 50 \text{ m m}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.2)

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 5 h \\ &\leq 5 \times 150 \text{ mm} \\ &\leq 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

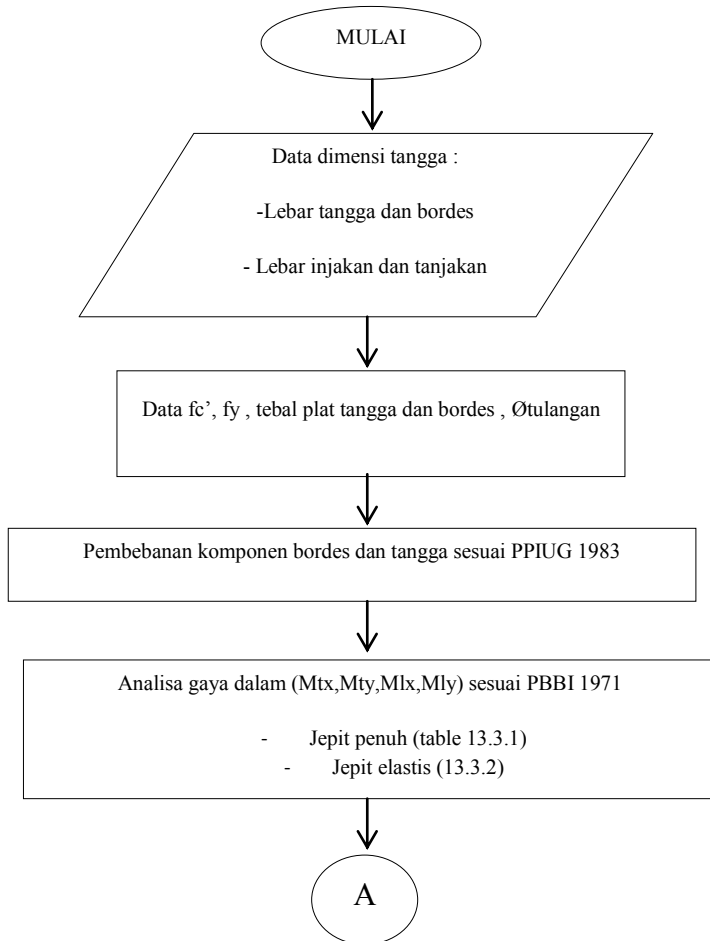
$$S_{\text{perlu}} = 167,47 \text{ mm} < S_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan D8-150mm

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 8^2 \cdot 1000}{150} \\ &= 334,933 \text{ mm}^2 > A_s \text{ susut} \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

4.4 Perencanaan Tangga



A

Hitung :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI-03-2847-2002 pasal 10.4.3)

$$\rho_{min} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

(SNI-03-2847-2002 pasal 12.3.3.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

(Wang . C Salmon hal 55 pers 3.8.4a)

Hitung :

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dx^2} \text{ (penulangan arah x)}$$

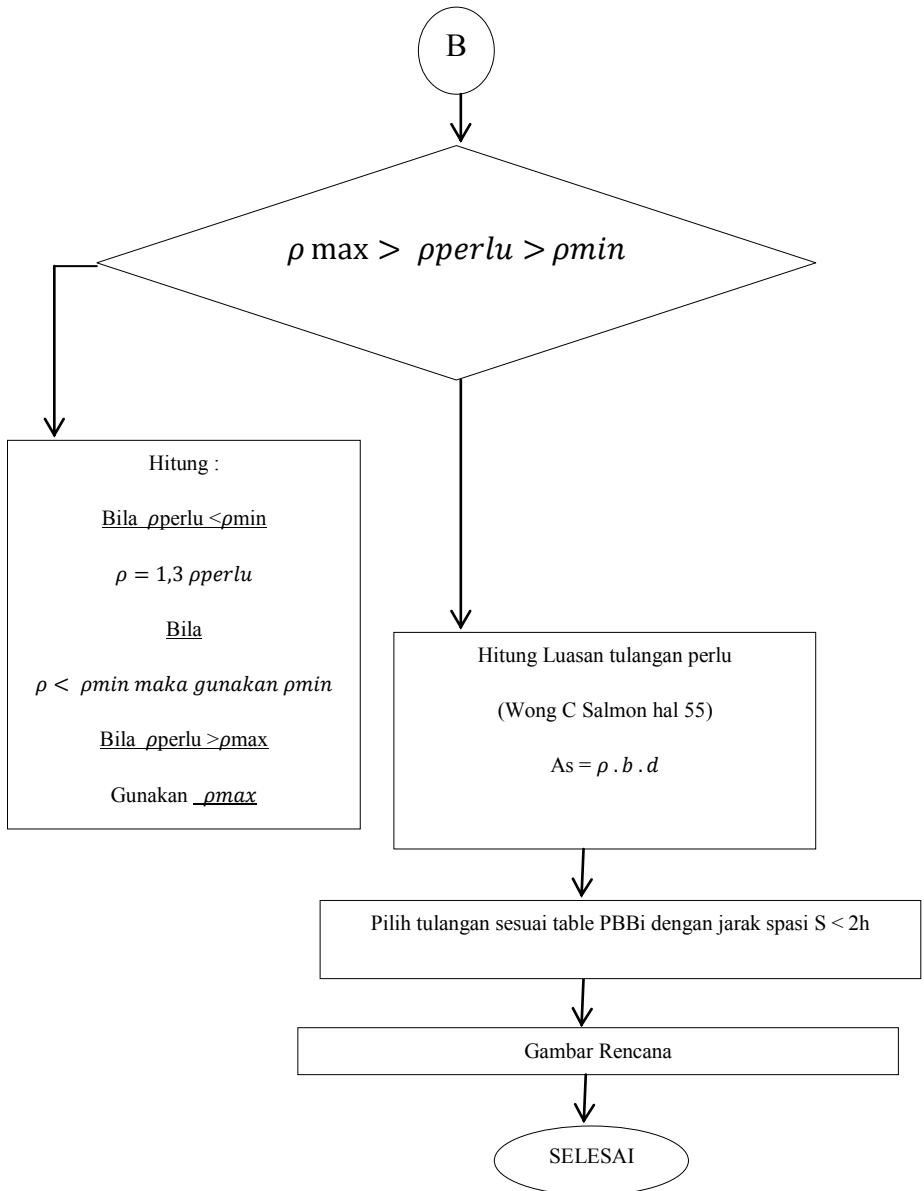
$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dy^2} \text{ (penulangan arah y)}$$

Dimana: dx = tebalplat-tebal selimut- ½ Ø

dy = tebalplat-tebal selimut- Ø½- Ø (Wang C Salmon hal 55 pers 3.8.4b)

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right) \text{ (wang C salmon hal 55 pers 3.8.5)}$$

B



Tangga merupakan bagian dari elemen konstruksi yang berfungsi sebagai penghubung antar lantai bawah dengan lantai atas. Perencanaan tangga dihitung dalam dua hitungan karena ketinggian elevasi tangga sama tetapi ada tangga pada AS tertentu yang memiliki ukuran yang berbeda.

4.4.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Tangga Tipe 1

Dimensi Awal tangga direncanakan sebagai berikut:

Ketinggian tiap lantai (h) = 400 cm

Elevasi lantai bordes = 200 cm

Panjang tangga = 600 cm

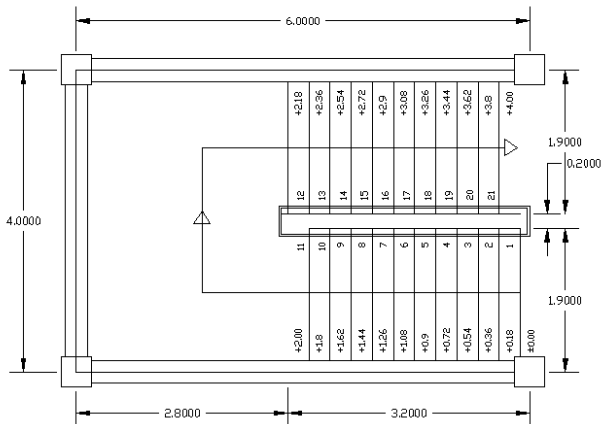
Lebar tangga = 400 cm

Tebal rencana pelat tangga = 15 cm

Tebal rencana pelat bordes = 15 cm

Lebar injakan (i) = 28 cm

Tinggi injakan (t) = 18 cm



Gambar 4.4 1 Denah tangga tipe 1

➤ Perhitungan perencanaan

- Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}\alpha &= \arctan \frac{t}{i} \\ &= \arctan \frac{18}{28} \\ &= 32,74^\circ \approx 33^\circ\end{aligned}$$

- Syarat sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}25^\circ &\leq \alpha \leq 40^\circ \\ 25^\circ &\leq 33^\circ \leq 40^\circ \rightarrow \textbf{memenuhi}\end{aligned}$$

- Syarat lebar injakan dan tinggi injakan

$$\begin{aligned}60 \text{ cm} &\leq 2t + i \leq 65 \text{ cm} \\ 60 \text{ cm} &\leq 64 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm} \rightarrow \textbf{memenuhi}\end{aligned}$$

- Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned}N_t &= \frac{\text{tinggi pelat anak tangga}}{t} \\ &= \frac{200}{18} \\ &= 11,11 \text{ buah}\end{aligned}$$

- Jumlah injakan

$$\begin{aligned}N_i &= n_t - 1 \\ &= 11 - 1 \\ &= 10 \text{ buah}\end{aligned}$$

- Tebal efektif pelat anak tangga

Dengan perbandingan luas pada segitiga, maka :

$$\begin{aligned}L\Delta_1 &= L\Delta_2 \\ \frac{1}{2} \times i \times t &= \frac{1}{2} \times (\sqrt{i^2 + t^2}) \times d \\ \frac{1}{2} \times 28 \times 18 &= \frac{1}{2} \times (\sqrt{28^2 + 18^2}) \times d \\ 252 \text{ cm} &= 16,64 \text{ cm} \times d \\ d &= 15,14 \text{ cm} \\ \frac{1}{2} \times d &= 7,57 \text{ cm} \approx 8 \text{ cm}\end{aligned}$$

Maka Tebal Efektif Pelat Tangga = $15 + 8 = 23 \text{ cm}$

4.4.2 Pembebanan Tangga dan bordes

a. Pembebanan anak tangga

Beban mati (DL)

$$\text{Berat pelat (23cm)} = 0,23\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 552 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat spesi (t=1 cm)} = 1 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik (t=1 cm)} = 1 \times 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat railing tangga} = 10 \text{ kg/m}^2 = 10 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{qDL total} = 607 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup (LL)

Beban hidup pada tangga adalah 300 kg/m^2

b. Beban yang bekerja pada bordes

Beban mati (DL)

$$\text{Berat pelat (15 cm)} = 0,15 \times 2400 \text{ kg/m}^2 = 360 \text{ kg/m}^2$$

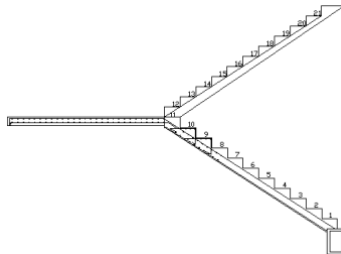
$$\text{Berat spesi (t=1 cm)} = 1 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik (t=1 cm)} = 1 \times 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{qDL total} = 405 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup (LL)

Beban hidup pada tangga adalah 300 kg/m^2



Gambar 4.4 2 Permodelan Tangga

4.4.3 Perhitungan Penulangan Anak Tangga

Data Perencanaan :

Tipe pelat : Tangga tipe 1

Mutu beton (f_c') : 25 Mpa

Mutu baja (f_y) : 400 Mpa

β : 0,85

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Tebal pelat : 150 mm

Decking : 20 mm

Diameter tulangan lentur : 16 mm

Diameter tulangan susut : 8 mm

d : 1000 mm

Faktor reduksi (ϕ) : 0,8

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2)

Tebal manfaat pelat :

$$dx = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi$$

$$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 16)$$

$$= 122 \text{ mm}$$

$$dy = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \phi - \frac{1}{2} \phi$$

$$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 16 - (\frac{1}{2} \cdot 16)$$

$$= 106 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

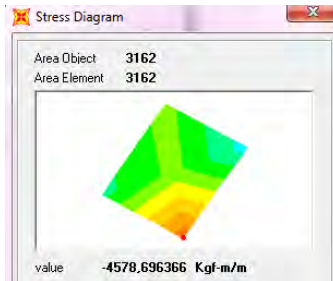
$$= 0,027$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,027 = 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

❖ **TULANGAN ARAH X**

Diambil momen akibat dari kombinasi :1,2 D + 1,6 LL



$$M_{11} = 4578,6964 \text{ kg-m}$$

$$M_{11} = 4578,6964 \times 10^4 \text{ N-mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{45.786.964}{0,8} = 57.233.705 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{57.233.705}{1000 \cdot 123^2} = 3,845$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,82) \cdot 3,845}{400}} \right) \\ &= 0,0107 \end{aligned}$$

➤ **Cek Persyaratan**

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0107 < 0,0203 \rightarrow (\text{OK})$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$= 0,0107 \times 1000 \times 122$$

$$= 1304 \text{ mm}^2$$

➤ Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{maks} \leq 2h$$

$$S_{maks} = 2 \cdot 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan Ø 14

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{1304 \text{ mm}^2}$$

$$= 154,11 \text{ mm}$$

$$S = 154,11 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)}$$

$$\rightarrow S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø 16 – 150mm

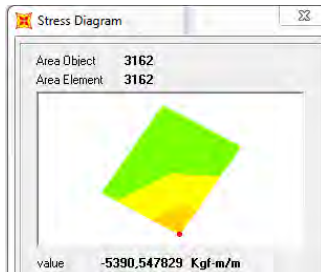
$$A_{spakai} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{150}$$

$$= 1339,73 \text{ mm}^2 > A_{sperlu} = 1304 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

❖ **TULANGAN ARAH Y**

Diambil momen akibat dari kombinasi : 1,2 D + 1,6 LL



$$M_{11} = 5390,5478 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{53.905.478}{0,8} = 67.381.847 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{67.381.847}{1000 \cdot 109^2} = 6$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,82) \cdot 6}{400}} \right)$$

$$= 0,018$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,018 < 0,024 \rightarrow (\text{OK})$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$= 0,018 \times 1000 \times 109$$

$$= 1915 \text{ mm}^2$$

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \cdot 150 \text{ mm}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan Ø 16

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{1915}$$

$$= 105 \text{ mm}$$

$$S = 105 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)}$$

→ Spakai = 100 mm

Tulangan yang dipakai Ø 16 – 100mm

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{100}$$

$$= 2009,6 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 1915 \text{ mm}^2 (\text{OK})$$

❖ TULANGAN SUSUT

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1)

$$A_{s \text{ susut}} = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat}$$

$$= 0,002 \cdot 1000 \cdot 150$$

$$= 300 \text{ mm}^2$$

(SNI 03-2847-2013 Psl 7.12.2.2)

$$S_{\max} = 5 \cdot h \text{ atau } S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$= 5 \cdot 150 \text{ mm}$$

$$= 750 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan D 8 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_s}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{300}$$

$$= 167,47 \text{ mm}$$

$$S = 167,47 \text{ mm} < 450 \text{ mm (OK)}$$

$$\rightarrow \text{Spakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai **D 8 – 150mm**

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{150}$$

$$= 334,933 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 300 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

4.4.4 Perhitungan Penulangan Bordes Tangga

Data Perencanaan :

Tipe pelat : Bordes Tangga

Mutu beton (f_c') : 25 Mpa

Mutu baja (f_y) : 400 Mpa

β : 0,85

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)

Tebal pelat : 150 mm

Decking : 20 mm

Diameter tulangan lentur : 13 mm

Diameter tulangan susut : 8 mm

d : 1000 mm

Faktor reduksi (ϕ) : 0,8

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2)

Tebal manfaat pelat :

$$dx = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi$$

$$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 13)$$

$$= 123,5 \text{ mm}$$

$$dy = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \phi - \frac{1}{2} \phi$$

$$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 - (\frac{1}{2} \cdot 13)$$

$$= 110,5 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

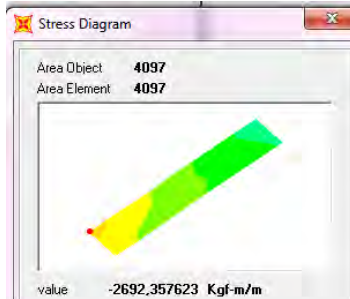
$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,027\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,027 = 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

❖ TULANGAN ARAH X

Diambil momen akibat dari kombinasi :1,2 D + 1,6 LL



$$M_{11} = 2692,3576 \text{ kg-m}$$

$$M_{11} = 2692,3576 \times 10^4 \text{ N-mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{26.923.576}{0,8} = 33.654.470 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{33.654.470}{1000 \cdot 124^2} = 2,207$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,82) \cdot 2,207}{400}} \right) \\ &= 0,00584\end{aligned}$$

➤ Cek Persyaratan

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0058 < 0,0203 \rightarrow (\text{OK})$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0058 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 721 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2h \\ S_{\max} &= 2 \cdot 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan Ø 13

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{721 \text{ mm}^2} \\ &= 184,035 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 184,035 \text{ mm} < 300 \text{ mm} (\text{OK})$$

$$\rightarrow S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø 13 – 150mm

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{150} \\ &= 884,433 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 718 \text{ mm}^2 (\text{OK}) \end{aligned}$$

❖ **TULANGAN ARAH Y**

Diambil momen akibat dari kombinasi :1,2 D + 1,6 LL



$$M_{11} = 2693,4311 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{26.934.311}{0,8} = 33.667.888,75 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d \cdot y^2} = \frac{33.667.888,75}{1000 \cdot 112^2} = 2,76$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,82) \cdot 2,68}{400}} \right) \\ &= 0,0074 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0074 < 0,024 \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0074 \times 1000 \times 110,5 \\ &= 819 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\leq 2h \\ S_{\text{maks}} &= 2 \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan Ø 13

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{819 \text{ mm}^2} \\ &= 162 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 162 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)} \rightarrow \text{Spakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai **Ø 13 – 150mm**

$$\begin{aligned} A_{spakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{150} \\ &= 884,433 \text{ mm}^2 > A_{sperlu} = 819 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

❖ **TULANGAN SUSUT**

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s_{susut}} &= \rho_{susut} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 150 \\ &= 300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Ps17.12.2.2)

$$\begin{aligned} S_{max} &= 5 \cdot h \text{ atau } S_{max} = 450 \text{ mm} \\ &= 5 \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan D 8 mm

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{300} \\ &= 167,47 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 167,47 \text{ mm} < 450 \text{ mm (OK)}$$

$$\rightarrow S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai **D 8 – 150mm**

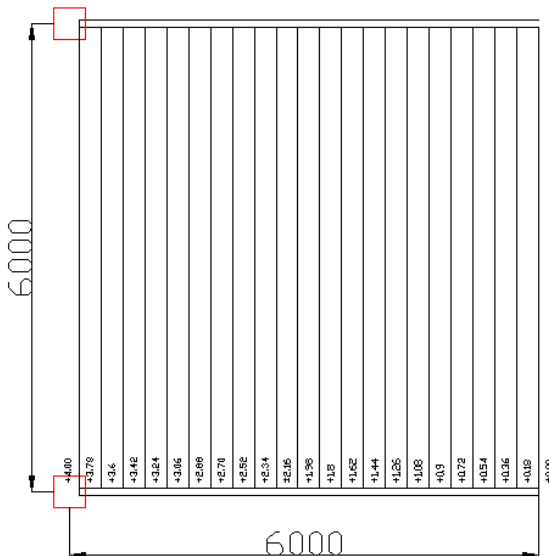
$$\begin{aligned} A_{spakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{150} \\ &= 334,933 \text{ mm}^2 > A_{sperlu} = 300 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.4.5 Perencanaan Dimensi Tangga

Tangga Tipe 2

Dimensi Awal tangga direncanakan sebagai berikut:

Elevasi lantai	= 400 cm
Panjang tangga	= 600 cm
Lebar tangga	= 400 cm
Tebal rencana pelat tangga	= 15 cm
Tebal rencana pelat bordes	= 15 cm
Lebar injakan (i)	= 28 cm
Tinggi injakan (t)	= 18 cm



Gambar 4.4.5 Denah Tangga Tipe 2

- Perhitungan perencanaan
 - Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$= \arctan \frac{18}{28}$$

$$= 32,74^\circ \approx 33^\circ$$

- Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 33^\circ \leq 40^\circ \rightarrow \text{memenuhi}$$

- Syarat lebar injakan dan tinggi injakan

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} \leq 64 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm} \rightarrow \text{memenuhi}$$

- Jumlah tanjakan

$$N_t = \frac{\text{tinggi pelat anak tangga}}{t}$$

$$= \frac{400}{18}$$

$$= 22,22 \text{ buah}$$

- Jumlah injakan

$$N_i = n_t - 1$$

$$= 22 - 1$$

$$= 21 \text{ buah}$$

- Tebal efektif pelat anak tangga

Dengan perbandingan luas pada segitiga, maka :

$$L\Delta_1 = L\Delta_2$$

$$\frac{1}{2} \times i \times t = \frac{1}{2} \times (\sqrt{i^2 + t^2}) \times d$$

$$\frac{1}{2} \times 28 \times 18 = \frac{1}{2} \times (\sqrt{28^2 + 18^2}) \times d$$

$$252 \text{ cm} = 16,64 \text{ cm} \times d$$

$$d = 15,14 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2} \times d = 7,57 \text{ cm} \approx 8 \text{ cm}$$

Maka Tebal Efektif Pelat Tangga = $15 + 8 = 23 \text{ cm}$

4.4.6 Pembebanan Tangga

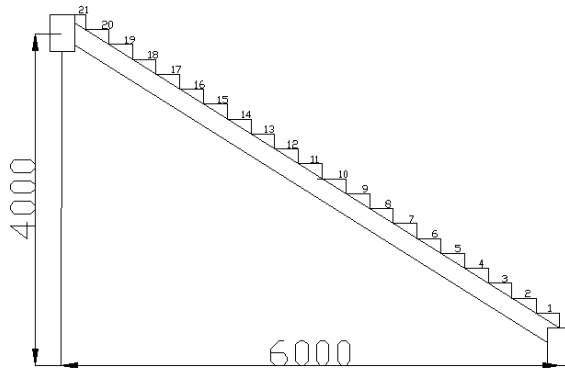
a. Pembebanan anak tangga

Beban mati (DL)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pelat (23cm)} &= 0,23\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 552 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat spesi (t=1 cm)} &= 1 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat keramik (t=1 cm)} &= 1 \times 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat railing tangga} &= 10 \text{ kg/m}^2 = \underline{10 \text{ kg/m}^2} \\
 \text{qDL total} &= \underline{607 \text{ kg/m}^2}
 \end{aligned}$$

Beban hidup (LL)

Beban hidup pada tangga adalah 300 kg/m²



Gambar 4.4.6 Permodelan Tangga

4.4.7 Perhitungan Penulangan Anak Tangga

Data Perencanaan :

Tipe pelat	: Tangga tipe 2
Mutu beton (fc')	: 25 Mpa
Mutu baja (fy)	: 400 Mpa
β	: 0,85
(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)	
Tebal pelat	: 230 mm
Decking	: 20 mm
Diameter tulangan lentur	: 14 mm
Diameter tulangan susut	: 8 mm
d	: 1000 mm

Faktor reduksi (ϕ) : 0,8

(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2)

Tebal manfaat pelat :

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi \\ &= 230 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 14) \\ &= 203 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \phi - \frac{1}{2} \phi \\ &= 230 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 14 - (\frac{1}{2} \cdot 14) \\ &= 189 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

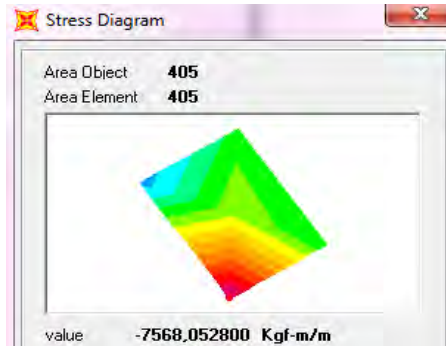
$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,027 = 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

❖ TULANGAN ARAH X

Diambil momen akibat dari kombinasi : 1,2 D + 1,6 LL



$$M_{11} = 7568,0528 \text{ kg-m}$$

$$M_{11} = 7568,0528 \times 10^4 \text{ N-mm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{75.680.528}{0,8} = 94.600.660 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{94.600.660}{1000 \cdot 203^2} = 2,296 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,82) \cdot 2,296}{400}} \right) \\
 &= 0,0061
 \end{aligned}$$

➤ Cek Persyaratan

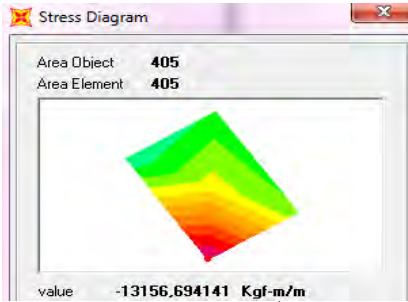
$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,0105 < 0,0203 \rightarrow (\text{OK}) \\
 A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 0,0061 \times 1000 \times 203 \\
 &= 1236 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &\leq 2h \\
 S_{\max} &= 2 \cdot 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm} \\
 \text{Maka dipakai tulangan } \emptyset 14 \\
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 14^2 \times 1000}{1236 \text{ mm}^2} \\
 &= 124,5 \text{ mm} \\
 S &= 124,5 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm} \\
 \text{Tulangan yang dipakai } \emptyset 14 - 100\text{mm} \\
 A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 14^2 \times 1000}{100} \\
 &= 1538,6 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 1236 \text{ mm}^2 (\text{OK})
 \end{aligned}$$

❖ **TULANGAN ARAH Y**

Diambil momen akibat dari kombinasi :1,2 D + 1,6 LL



$$M_{11} = 13156,6941 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{131.566.941}{0,8} = 164458676,3 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{164458676,3}{1000 \cdot 189^2} = 4,6$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,82) \cdot 5,67}{400}} \right) \\ &= 0,0131 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0131 < 0,024 \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0131 \times 1000 \times 189 \\ &= 2482 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \leq 2h$$

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= 2 \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan Ø 14

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 14^2 \times 1000}{2482} \\ &= 62 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 60 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 60 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai **Ø 14 – 60mm**

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 14^2 \times 1000}{60\text{mm}} \\ &= 2564,33 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 2482 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

❖ TULANGAN SUSUT

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s_{susut}} &= \rho_{susut} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 150 \\ &= 300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Psl 7.12.2.2)

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 5 \cdot h \text{ atau } S_{\max} = 450 \text{ mm} \\ &= 5 \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan D 8 mm

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{300} \\ &= 167,47 \text{ mm} \end{aligned}$$

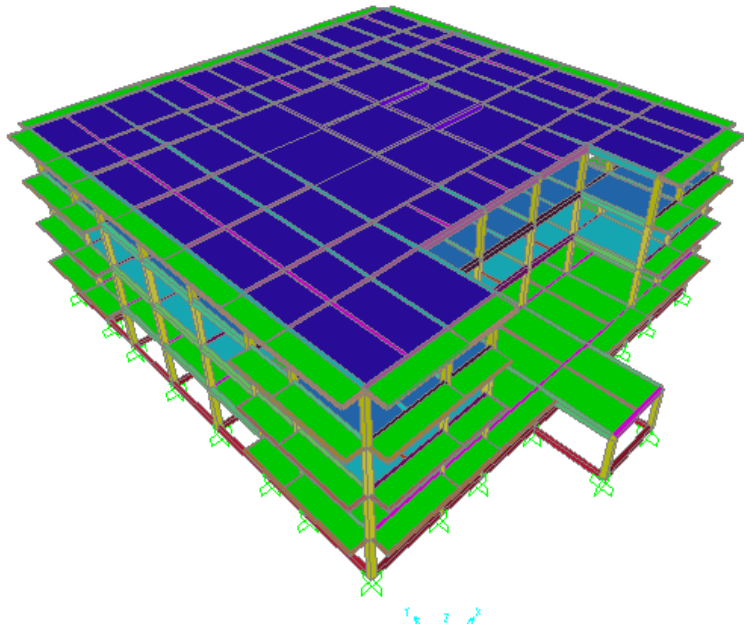
$$S = 167,47 \text{ mm} < 450 \text{ mm (OK)} \rightarrow S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai **D 8 – 150mm**

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{150} \\ &= 334,933 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 300 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

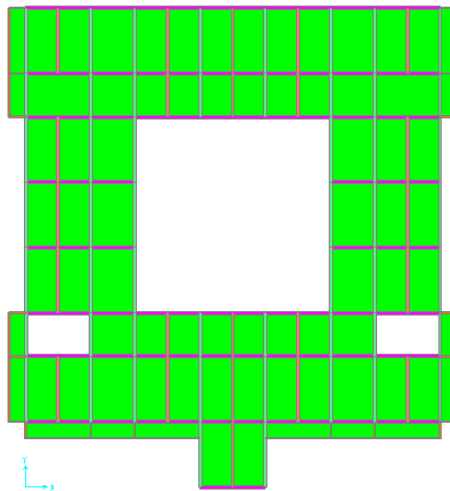
4.5 Perencanaan Struktur Bangunan

4.5.1 Bentuk 3D Bangunan

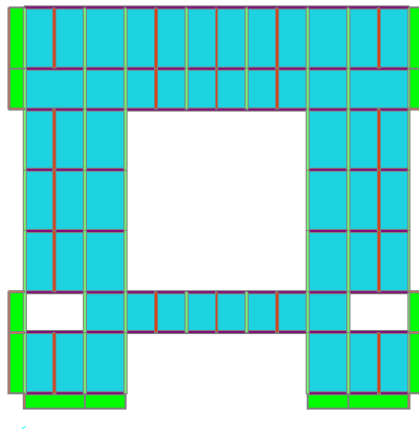


Gambar 4.5 1Perencanaan Bangunan bentuk 3D

4.5.2 Bentuk pelat lantai 1

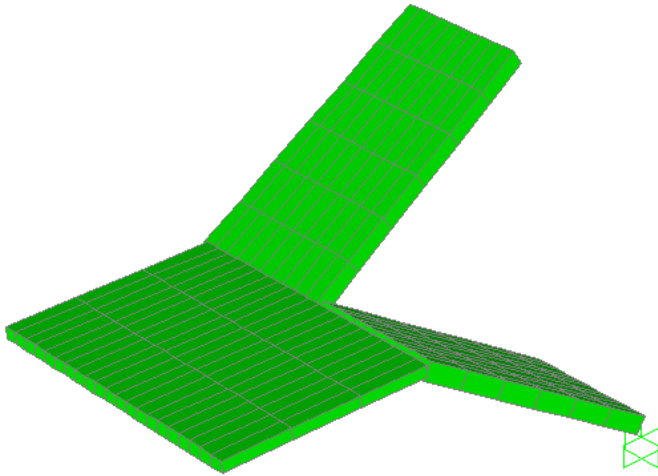


Gambar 4.5 2 Perencanaan Pelat Lt. 1



Gambar 4.5 3 Perencanaan Pelat Lt. 2

4.5.3 Bentuk 3D Tangga



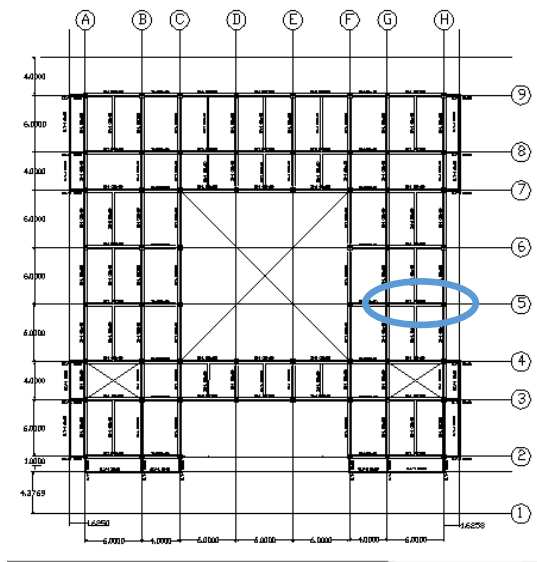
Gambar 4.5 4 Bentuk 3D Tangga

4.6 Perhitungan Balok

4.6.1 Perhitungan Penulangan Balok Induk

a. Data Perencanaan

Dalam perhitungan balok akan dibahas penulangan balok induk as 5 30/45 cm yang berada pada lantai 4 dengan elevasi $\pm 12,00$ m



Gambar 4.6 1 Lokasi balok yang ditinjau

Adapun data balok adalah sebagai berikut :

Bentang balok = 6000 mm

Dimensi balok b = 300 mm

h = 450 mm

Dimensi Kolom b = 400 mm

h = 400 mm

Tinggi Kolom = 4000 mm

Diameter Tulangan lentur = 19 mm

Diameter Tulangan geser = 10 mm

Diameter Tulangan torsi = 10 mm

Tebal selimut (t_{selimut}) = 40 mm
[SNI 03-2847-2002 pasal 9.7.1.(c)]
 Faktor β_1 = 0,85
[SNI-03-2847-2002 pasal 12.2.7.(3)]
 Faktor reduksi kekuatan lentur = 0,8
[SNI-03-2847-2002 pasal 11.3.2.(1)]
 Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
[SNI-03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]
 Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) = 0,75
[SNI-03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]

Mutu bahan

Kuat tekan beton (f_c') = 30 MPa

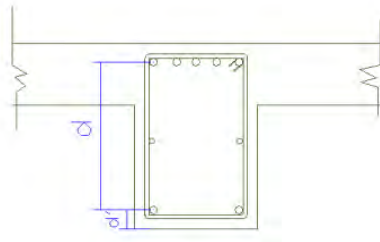
Kuat leleh tulangan lentur (f_{yl}) = 400 Mpa

Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) = 240 Mpa

Tinggi efektif balok

$$\begin{aligned}
 d &= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} D_{\text{tul lentur}} \\
 &= 450\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} 19\text{ mm} \\
 &= 390,5\text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= t_{\text{selimut}} + D_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} D_{\text{tul lentur}} \\
 &= 40\text{ mm} + 10\text{mm} + \frac{1}{2} 19\text{ mm} \\
 &= 59,5\text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.6 2 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil Output dari Analisa SAP 2000

Dari analisa SAP 2000, didapatkan gaya dalam yang dapat digunakan perhitungan penulangan. Adapun

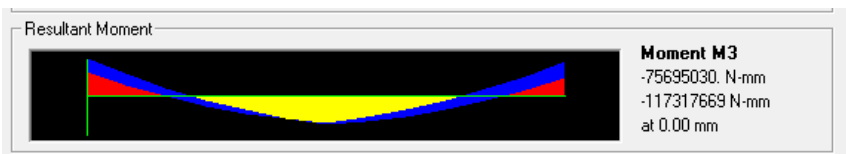
dalam pengambilan hasil output dari analisa SAP 2000 adalah gaya maksimum yang terjadi akibat beberapa macam kombinasi pembebanan, kombinasi pembebanan yang dipakai adalah kombinasi beban gravitasi dan beban gempa yang berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 11.2 Kombinasi pembebanan non-gempa :

1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2D + 1,6 L$
3. $U = 1,2 D + 1 L$

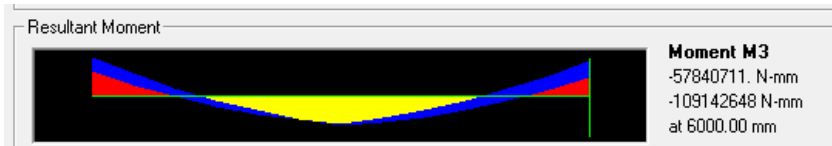
Kombinasi pembebanan gempa :

1. $U = 1,2D + 1L + 1Eq_x + 0,3Eq_y$
2. $U = 1,2D + 1L + 0,3Eq_x + 1Eq_y$
3. $U = 1D + 1L + 1 Eq_x + 0,3Eq_y$
4. $U = 1D + 1L + 0,3Eq_x + 1Eq_x$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D+1,0L+1Eq_x+0,3Eq_y$ adalah kombinasi kritis dalam pemodelan.



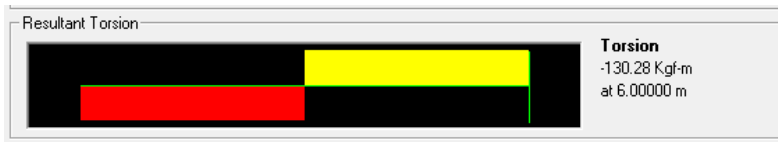
Gambar 4.6 3 Diagram momen pada tumpuan kiri akibat gempa dan gravitasi



Gambar 4.6 4 Diagram momen pada tumpuan kanan akibat gempa dan gravitasi



Gambar 4.6 5 Diagram geser akibat 1,2 D + 1L



Gambar 4.6 6 Diagram torsi pada balok akibat 1,2 D +1,6 L

c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

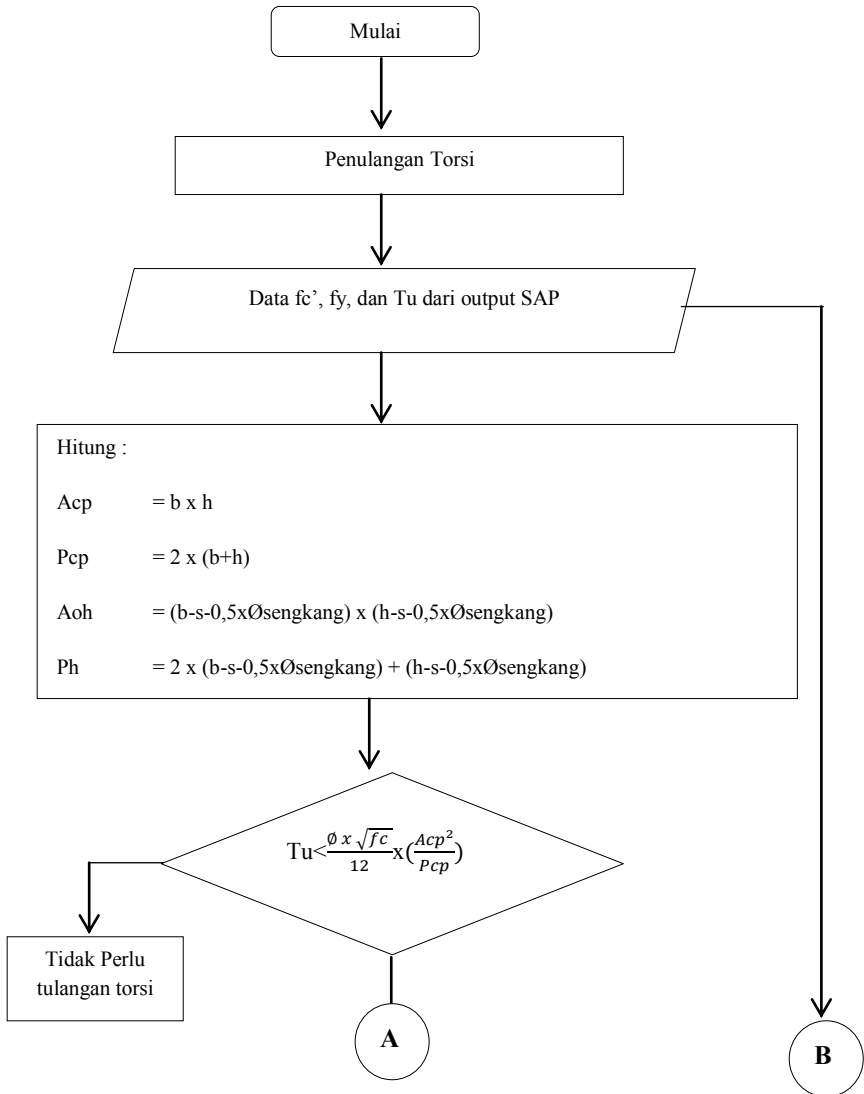
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur . Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI03-2847-2002 pasal 23.10.(4), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

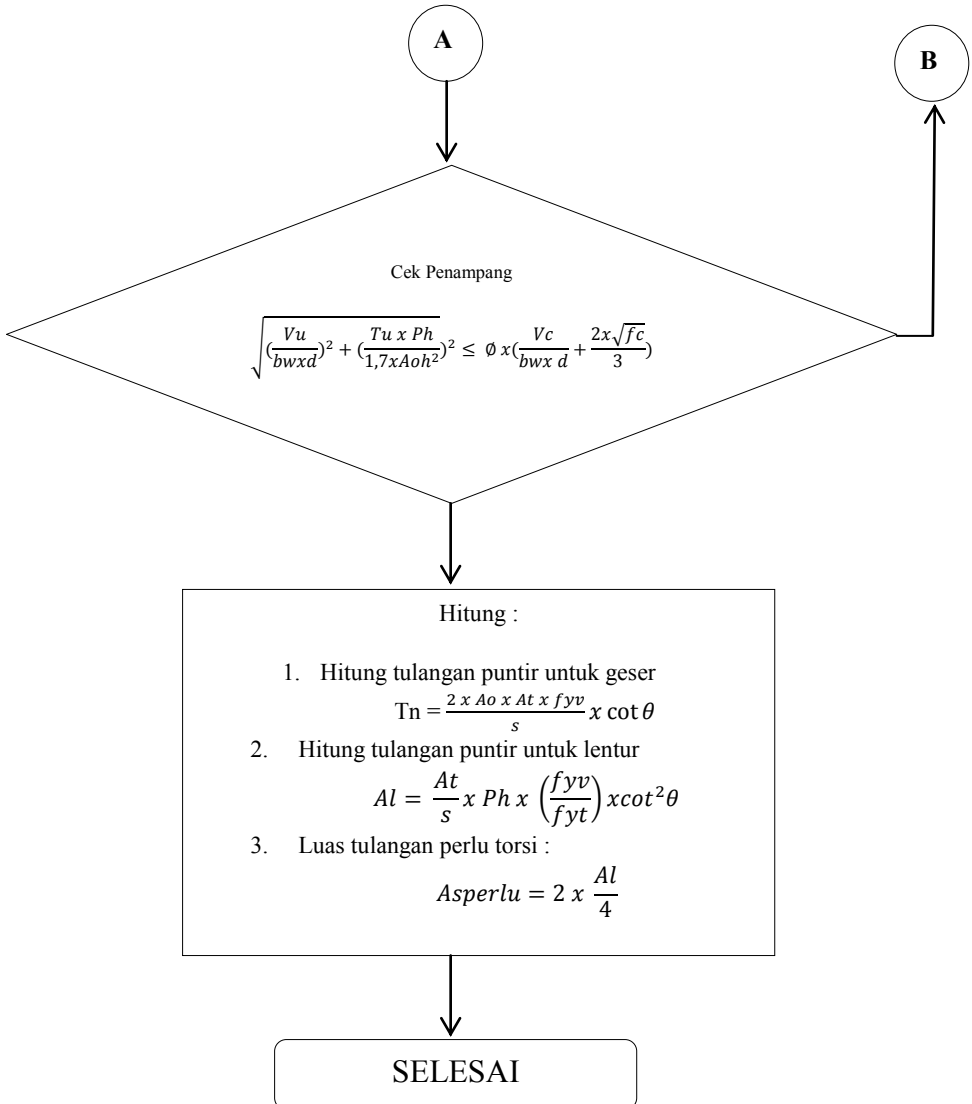
$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} = \frac{300 \times 450 \times 25 \text{ N/mm}^2}{10} = 337500 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi gaya gempa dan gravitasi pada komponen struktur sebesar 4432.68 N < 337500 N

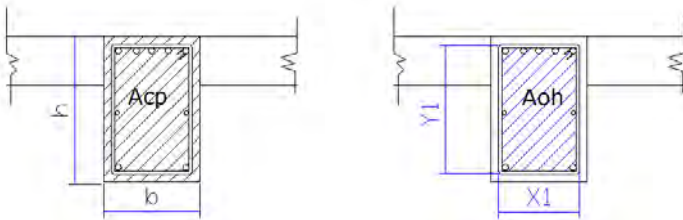
4.6.1.1 Perhitungan Tulangan Torsi

Berikut ini diagram alur perhitungan tulangan torsi balok:





- Momen Puntir Ultimate
 $T_u = 4.969.508,66 \quad \text{Nmm (Output SAP)}$
- Momen Puntir Nominal
 $T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{4969508,66}{0,75} = 6.626.011,55 \text{ Nmm}$
- Cek, apakah diperlukan tulangan torsi
 Luas yang dicakup oleh keliling luar, lihat gambar 4.6.7



Gambar 4.6.7 Luasan Acp dan Aoh

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan
 $A_{cp} = b \cdot h = 300 \text{ mm} \cdot 450 \text{ mm} = 135.000 \text{ mm}^2$
- Parameter luas irisan penampang beton Acp
 $P_{cp} = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (300 \text{ mm} + 450 \text{ mm}) = 1.500 \text{ mm}^2$
- Cek pengaruh momen torsi

$$\phi \cdot T_n = \phi \cdot \frac{\sqrt{f_c'}}{12} \cdot \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$\phi \cdot T_n = 0,75 \times \frac{\sqrt{25 \text{ N/mm}^2}}{12} \cdot \frac{(135000 \text{ mm}^2)^2}{1500 \text{ mm}^2}$$

$$\phi \cdot T_n = 3.796.875 \text{ Nmm} < T_u = 4.969.508,66 \text{ Nmm}$$

(Tulangan torsi diperlukan)

➤ Menghitung penampang

$$\begin{aligned} X_1 &= b - 2 \cdot (t_{\text{selimut}} + \frac{1}{2} \cdot \varnothing \text{ sengkang}) \\ &= 300\text{mm} - 2 \cdot (40\text{mm} + \frac{1}{2} \cdot 10\text{mm}) \\ &= 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_1 &= h - 2 \cdot (t_{\text{selimut}} + \frac{1}{2} \cdot \varnothing \text{ sengkang}) \\ &= 450\text{mm} - 2 \cdot (40\text{mm} + \frac{1}{2} \cdot 10\text{mm}) \\ &= 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

➤ Luasan yang dicakup oleh garis tengah sengkang, lihat Gambar 4.6.7

$$\begin{aligned} A_{oh} &= X_1 \cdot Y_1 = 210 \text{ mm} \cdot 360\text{mm} = 75600 \text{ mm}^2 \\ A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} = 0,85 \cdot 75.600\text{mm}^2 = 64.260 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ Tinggi efektif balok

$$\begin{aligned} d_{\text{aktual}} &= h - t_{\text{selimut}} - \varnothing_{\text{tul.sengkang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul.lentur}} \\ &= 450\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} \cdot 19\text{mm} \\ &= 390,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

➤ Keliling dari garis tengah tulangan torsi tertutup bagian luar

$$\begin{aligned} Ph &= 2 \cdot (X_1 + Y_1) = 2 \cdot (210\text{mm} + 360\text{mm}) \\ &= 1.140\text{mm} \end{aligned}$$

➤ Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur non-prategang berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 13.3.1 adalah :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{\sqrt{f_{c'}}}{6} b w \cdot d \\ V_c &= \frac{\sqrt{25\text{N/mm}^2}}{6} 300\text{mm} \cdot 390,5\text{mm} \\ V_c &= 97.625 \text{ N} \end{aligned}$$

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.3.1 (a) dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

Gaya geser terfaktor (V_u) = 99.100,2 N (OUTPUT SAP)

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bw \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7 Aoh}\right)^2} \leq \phi \left[\frac{Vc}{bw \cdot d} + \frac{2 \cdot \sqrt{fc'}}{3} \right]$$

$$\sqrt{\left(\frac{99.100,2}{300 \cdot 390,5}\right)^2 + \left(\frac{4.969.508,66 \cdot 1.140}{1,7 \cdot 75600}\right)^2}$$

$$\leq 0,75 \left[\frac{97.625}{300 \cdot 390,5} + \frac{2 \cdot \sqrt{25}}{3} \right]$$

$$0,947 \leq 3,125 \quad (\text{Penampang cukup besar})$$

- Menentukan tulangan torsi transversal yang diperlukan

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{4.969.508,66}{0,75} = 6.626.011,55 \text{ Nmm}$$

Untuk beton non-prategang

$$\theta = 45^\circ \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.3.6})$$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \cdot A_o \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{6.626.011,55}{2 \cdot 64.260 \cdot 240 \cdot \cot 45}$$

$$\frac{At}{s} = 0,219 \text{ mm}^2$$

Menurut tulangan torsi longitudinal yang diperlukan sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.3.7 tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan torsi tidak boleh kurang daripada :

$$A_l = \frac{At}{s} \cdot Ph \cdot \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cdot \cot^2 \alpha$$

$$A_l = 0,219 \cdot 1140 \cdot \left(\frac{240}{400} \right) \cdot \cot^2 45$$

$$A_l = 101,662 \text{ mm}^2$$

- Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$A_{lmin} = \frac{5 \cdot \sqrt{f_c} \cdot A_{cp}}{12 \cdot f_{yl}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot Ph \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}}$$

$$A_{lmin} = \frac{5 \cdot \sqrt{25} \cdot 135000}{12 \cdot 400} - (0,219) \cdot 1140 \cdot \frac{240}{400}$$

$$A_{lmin} = 601,46 \text{ mm}^2$$

$$A_l = 101,662 \text{ mm}^2 < A_{lmin} = 601,662 \text{ mm}^2 (\text{digunakan } A_{lmin})$$

Luasan tulangan torsi untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{601,46}{4} = 150,37 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Pada sisi kanan kiri diperlukan luasan tulangan sebesar

$$2 \cdot \frac{A_l}{4} = 2 \cdot 150,37 \text{ mm}^2 = 300,73 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang torsi longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{A_{sperlu}}{\text{Luasan } D_{torsi}}$$

$$n = \frac{300,73 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2} = 3,83 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan torsi 4 D 10

Luasan tulangan torsi longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang torsi} &= n_{\text{pasang}} \cdot \text{luasan } D_{\text{torsi}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi \times 10^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

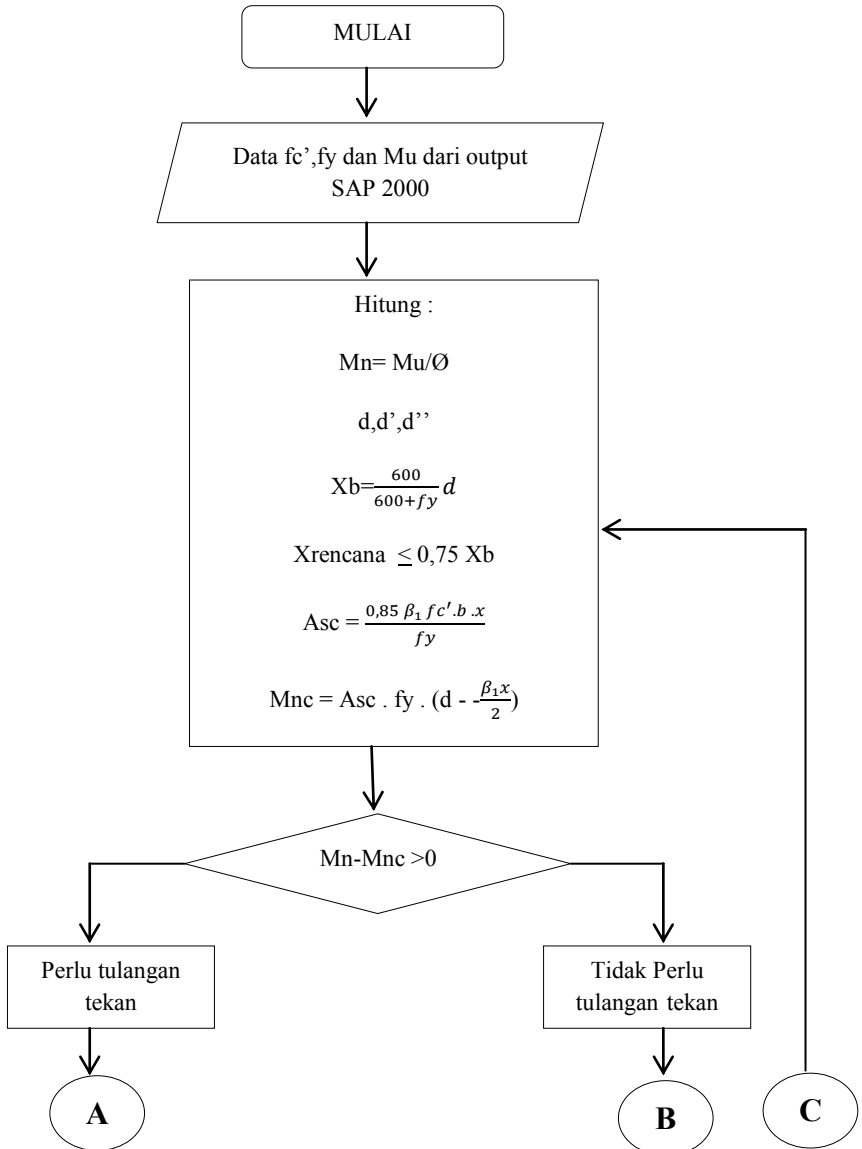
As pasang \geq As perlu

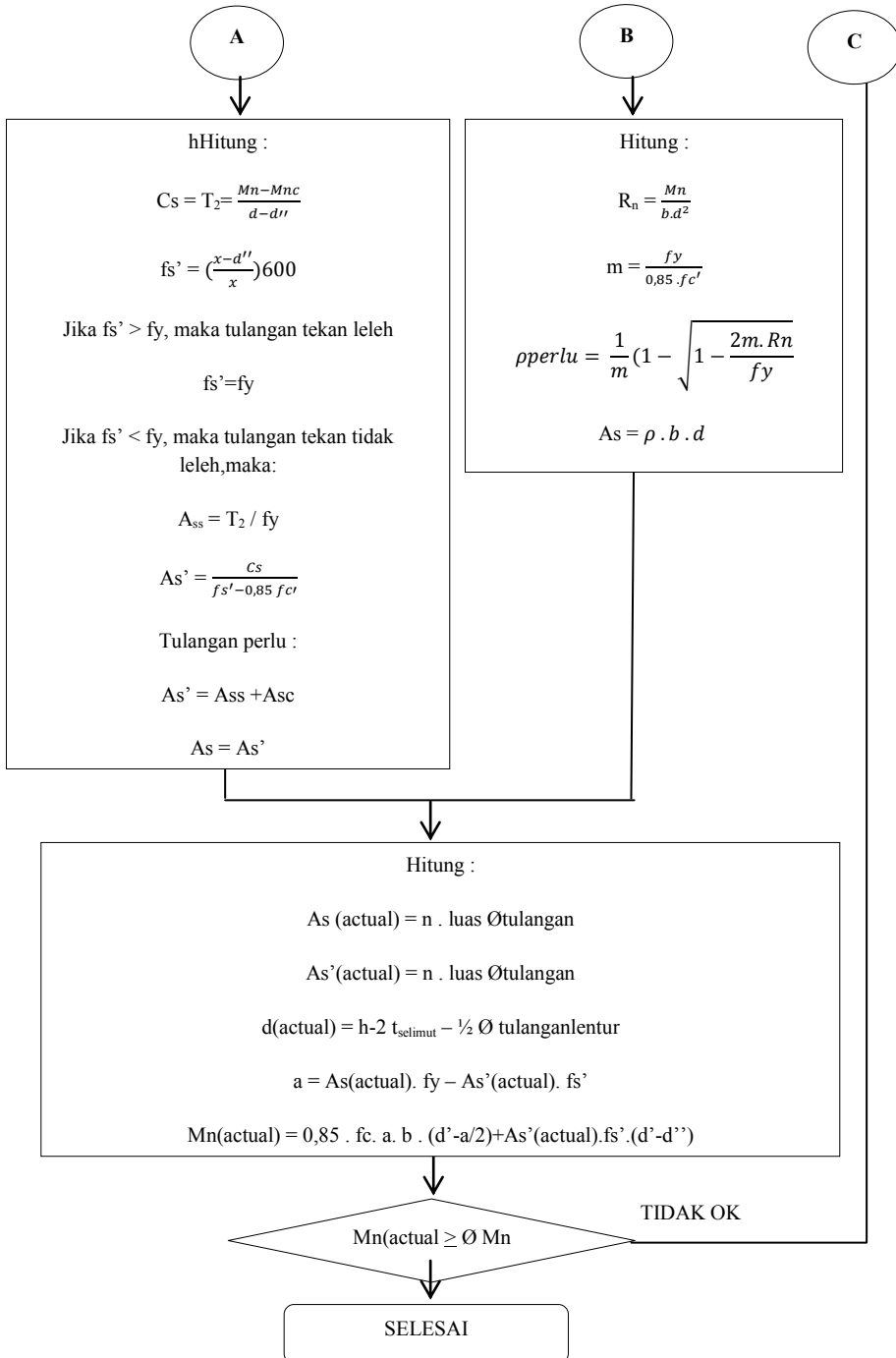
$$314,159 \text{ mm}^2 \geq 300,73 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipasang tulangan torsi ditumpuan kiri , lapangan, dan tumpuan kanan 4D10

4.6.1.2 Perhitungan Tulangan Lentur

Berikut ini diagram alur perhitungan tulangan lentur balok :





- Garis netral kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \cdot 390,5 \\ &= 234,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral maximum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \cdot 234,3 \text{ mm} \\ &= 175,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 541875 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ A_{sc} &= \frac{0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100}{400} \\ &= 1354,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ M_{nc} &= 1354,69 \cdot 400 \cdot \left(390,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2} \right) \\ M_{nc} &= 188572500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

❖ DAERAH TUMPUAN KIRI

Diambil momen terbesar , akibat dari kombinasi
 $1,2D+1,0L+1,0Eq_x+0,3Eq_y$

- Mu tumpuan = 117317669 Nmm
- Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{Mu_{tumpuan}}{\phi} = 146647086,3 \text{ Nmm}$$

- Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \longrightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \longrightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 146.647.086,3 \text{ Nmm} - 188572500 \text{ Nmm} \\ &= -419254413.75 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka , $M_{ns} = -419254413.75 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

- Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} \bullet \quad R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{146647086,3 \text{ Nmm}}{300 \cdot 390,5^2} \\ &= 3,21 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\ &= 18,82 \\ \bullet \quad \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

- $\rho_{balance} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$

$$\rho_{balance} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{25}{400}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400}\right)$$

$$\rho_{balance} = 0,027$$

- $\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{balance}$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot 0,027$$

$$\rho_{\max} = 0,020$$

- $\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}}\right)$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{18,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 21}{400}}\right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,009$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{perlu} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,009 < 0,020 \quad \textbf{(memenuhi)}$$

- Luas tulangan tarik pakai

$$A_s = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,009 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 390,5 \text{ mm}$$

$$= 1023 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan perlu lentur ditambah luasan tambah torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 1023 \text{ mm}^2 + 150,65 \text{ mm}^2$$

$$= 1173,55 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$$

$$n = \frac{1173,55 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 4,139 \approx 5 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 5D19

- Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$As \text{ pasang} = n \cdot Luasan Dlentur$$

$$= 5 \cdot 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 1418 \text{ mm}^2$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{ccc} As \text{ pasang} & \geq & As \text{ perlu} \\ 1418 \text{ mm}^2 & \geq & 1173,55 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{array}$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan tekan

$$As' = 0$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$As'_{\text{perlu}} = As + \frac{A_t}{4}$$

$$= 0 + 150,65$$

$$= 150,65 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$$

$$n = \frac{150,65 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 0,531 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

- Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$As \text{ pasang} = n \cdot Luasan Dlentur$$

$$= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{rcl} \text{As pasang} & \geq & \text{As perlu} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 150,65 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$
- Kontrol jarak spasi tulangan pakai
 Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 5 D 19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

Kontrol Tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (jmlh \text{ tul } D_{\text{lentur}})}{jumlah \text{ tulangan} - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (5 \cdot 19 \text{ mm})}{5 - 1}$$

$$= 26,25 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{rcl} S_{\max} & \geq & S_{\text{sejajar}} \\ 26,25 \text{ mm} & \geq & 25 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok BI-1 (30/45) untuk daerah tumpuan kiri :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis
 Lapis 1 = 5 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis
 Lapis 1 = 2 D 19

➤ Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3 \cdot M$ lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2002, pasal 23.10.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

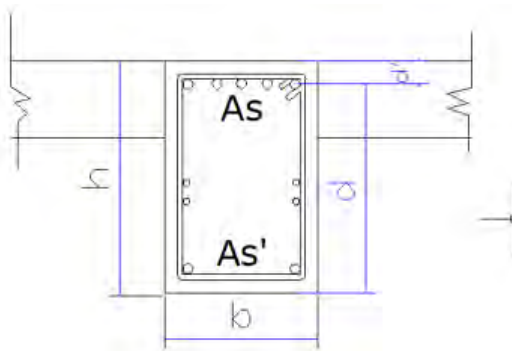
$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 5 \text{ D } 19 \\ &= 5 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 1418 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 2 \text{ D } 19 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{M lentur tumpuan (+)} & \geq & 1/3 \cdot \text{M lentur tumpuan (-)} \\ 1418 \text{ mm}^2 & \geq & 1/3 \cdot 567,1 \text{ mm}^2 \\ 1418 \text{ mm}^2 & \geq & 189,03 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{array}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri , dipasang tulangan :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis = 5 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D 19



Gambar 4.6 8 Tinggi efektif balok

➤ Kontrol kemampuan penampang

$$d_{\text{actual}} = h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{tulangan sengkang}} - D_{\text{tul.lentur}} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$= 450\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - 19\text{mm} - \frac{2}{5} \cdot 25\text{ mm}$$

$$= 371\text{ mm}$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600$$

$$= \left(1 - \frac{59,5}{100}\right) \cdot 600$$

$$= 243\text{ Mpa}$$

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{(1418 \cdot 400 - 567,1 \cdot 243)}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 67,34\text{ mm}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a$$

$$= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 67,34$$

$$= 429262,5078\text{ N}$$

$$C_s' = A_s' \cdot \text{pasang} \cdot f_s$$

$$= 567,1 \cdot 243$$

$$= 137805,3\text{ N}$$

$$M_{n_{\text{pasang}}} = C_c' \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{renc}}{2}\right) + C_s' \cdot (d - d')$$

$$= 429262,5078 \left(390,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2}\right) + 137805,3 \cdot (390,5 - 59,5)$$

$$= 196281663074628\text{ Nmm}$$

Maka ,

$$\emptyset \cdot M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 196281663074628 > 117317669$$

$$0,8 \cdot 196281663074628 > 117317669$$

$$15702533045970\text{ Nmm} > 117317669\text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi penulangan BI (30/45) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 5D19 dan tulangan tekan 2D19

❖ DAERAH LAPANGAN

Diambil momen terbesar , akibat dari kombinasi
1,2D+1,0L+0,3Eqx+1Eqy

- Mu lapangan = 85179245,74 Nmm
- Momen lentur nominal (Mn)

$$Mn = \frac{Mu_{tumpuan}}{\phi} = 106474057,2 \text{ Nmm}$$

- Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0$ \longrightarrow maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0$ \longrightarrow maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 106474057,2 \text{ Nmm} - 188572500 \text{ Nmm}$$

$$= -82098442,83 \text{ Nmm}$$

Maka , $Mns = -82098442,83 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

- Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} \bullet \quad Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{106474057,2 \text{ Nmm}}{300 \cdot 390,5^2} \\ &= 2,33 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad m &= \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\ &= 18,82 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{fy}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

- $\rho_{\text{balance}} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{25}{400}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400}\right)$$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,027$$

- $\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}}$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot 0,027$$

$$\rho_{\max} = 0,020$$

- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}}\right)$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{18,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,2 \cdot 2,33}{400}}\right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,006 < 0,020 \quad (\text{memenuhi})$$

- Luas tulangan tarik pakai

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,006 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 390,5 \text{ mm}$$

$$= 723,7 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan perlu lentur ditambah luasan tambah torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 723,7 \text{ mm}^2 + 150,65 \text{ mm}^2$$

$$= 874,38 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$\text{Luasan Dlentur}$$

$$n = \frac{874,38 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 3,084 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 4 D19

- Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \cdot \text{Luasan Dlentur} \\ &= 4 \cdot 283,5 \text{ mm}^2 \\ &= 1134 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{rcl} \text{As pasang} & \geq & \text{As perlu} \\ 1134 \text{ mm}^2 & \geq & 874,38 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{array}$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan tekan

$$\text{As}' = 0$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} \text{As}'_{\text{perlu}} &= \text{As} + \frac{A_t}{4} \\ &= 0 + 150,65 \\ &= 150,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{150,65 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 0,531 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

- Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \cdot \text{Luasan Dlentur} \\ &= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{rcl} \text{As pasang} & \geq & \text{As perlu} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 150,65 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{array}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 4 D 19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

Kontrol Tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (\text{jmlh tul } D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (4 \cdot 19 \text{ mm})}{4 - 1}$$

$$= 41,33 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$41,33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok BI-1 (30/45) untuk daerah lapangan :

✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis

Lapis 1 = 4 D 19

✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis

Lapis 1 = 2 D 19

- Kontrol kemampuan penampang (*lihat gambar 4.6.8*)

$$d_{\text{actual}} = h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{tulangan sengkang}} - D_{\text{tul.lentur}} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$= 450 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$= 371 \text{ mm}$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600$$

$$= \left(1 - \frac{59,5}{100}\right) \cdot 600$$

$$= 243 \text{ Mpa}$$

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{(1134 \cdot 400 - 567,1 \cdot 243)}{0,85 \cdot 25 \cdot 300}$$

$$= 49,55 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\
 &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 49,5 \\
 &= 315851,013 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= A_s' \cdot \text{pasang} \cdot f_s \\
 &= 567,1 \cdot 243 \\
 &= 137794,96 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{pasang}}} &= Cc' \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{renc}}{2} \right) + Cs' \cdot (d - d') \\
 &= 315851,013 \left(390,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2} \right) + 137794,96 \cdot (390,5 - 59,5) \\
 &= 14442389211699 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka ,

$$\phi \cdot M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 14442389211699 > 85179245,74$$

$$115539113694 > 85179245,74 \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi penulangan BI (30/45) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19

❖ DAERAH TUMPUAN KANAN

Diambil momen terbesar , akibat dari kombinasi
1,2D+1,0L+0,3Eqx+1Eqy

$$\text{➤ } M_u \text{ tumpuan} = 109142648 \text{ Nmm}$$

$$\text{➤ } \text{Momen lentur nominal (Mn)}$$

$$M_n = \frac{M_{u_{\text{tumpuan}}}}{\phi} = 136428310 \text{ Nmm}$$

$$\text{➤ } \text{Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap}$$

Syarat :

$$M_{ns} > 0 \rightarrow \text{maka perlu tulangan lentur tekan}$$

$$M_{ns} \leq 0 \rightarrow \text{maka tidak perlu tulangan lentur tekan}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 136428310 \text{ Nmm} - 188572500 \text{ Nmm}$$

$$= -52144190 \text{ Nmm}$$

Maka, $M_{ns} = -52144190 \text{ Nmm} < 0$

(tidak perlu tulangan tekan)

➤ Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} \bullet \quad R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{136428310 \text{ Nmm}}{300 \cdot 390,5^2} \\ &= 2,98 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\ &= 18,82 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\bullet \quad \rho_{\text{balance}} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{25}{400} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,027$$

$$\bullet \quad \rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot 0,027$$

$$\rho_{\max} = 0,020$$

$$\bullet \quad \rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{18,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.18,2 \cdot 2,98}{400}}\right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,008$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,008 < 0,020 \quad (\text{memenuhi})$$

- Luas tulangan tarik pakai

$$A_s = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,008 \cdot 300\text{mm} \cdot 390,5\text{ mm}$$

$$= 945,2\text{ mm}^2$$
- Luas tulangan perlu lentur ditambah luasan tambah torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_s \text{ perlu} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 945,2\text{ mm}^2 + 150,65\text{ mm}^2$$

$$= 1095,84\text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{1095,84\text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 3,865 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 4 D19

- Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$A_s \text{ pasang} = n \cdot \text{Luasan Dlentur}$$

$$= 4 \cdot 283,5\text{ mm}^2$$

$$= 1134\text{ mm}^2$$

- Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$$

$$1134\text{ mm}^2 \geq 1095,84\text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan tekan

$$As' = 0$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} As'_{\text{perlu}} &= As + \frac{A_t}{4} \\ &= 0 + 150,65 \\ &= 150,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{Luasan D_{\text{lentur}}}$$

$$n = \frac{150,65 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 0,531 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

- Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$As_{\text{pasang}} = n \cdot Luasan D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{rcl} As_{\text{pasang}} & \geq & As_{\text{perlu}} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 150,65 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{array}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 4 D 19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

Kontrol Tulangan tarik

$$S_{\text{max}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (jmlh \text{ tul } D_{\text{lentur}})}{jumlah \text{ tulangan} - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - (2 \cdot 10\text{mm}) - (4 \cdot 19\text{mm})}{4 - 1}$$

$$= 41,33 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$41,33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok BI-1 (30/45) untuk daerah tumpuan kiri :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis
Lapis 1 = 4 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19

➤ **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2002, pasal 23.10.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 5 \text{ D } 19 \\ &= 4 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 1134 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 2 \text{ D } 19 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq 1/3 \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 1134 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \cdot 1134 \text{ mm}^2 \\ 1134 \text{ mm}^2 &\geq 378 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri , dipasang tulangan :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis = 4 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D 19

➤ Kontrol kemampuan penampang (*lihat gambar 4.6.8*)

$$\begin{aligned} d_{\text{actual}} &= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{tulangan sengkang}} - D_{\text{tul.lentur}} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 450 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 371 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 \\ &= \left(1 - \frac{59,5}{100}\right) \cdot 600 \\ &= 243 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{(1134 \cdot 400 - 567,1 \cdot 243)}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 49,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 49,5 \\ &= 315851,013 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot f_s' \\ &= 567,1 \cdot 243 \\ &= 137805,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{\text{pasang}}} &= C_c' \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot x_{\text{renc}}}{2}\right) + C_s' \cdot (d - d') \\ &= 315851,031 \left(390,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2}\right) + 137805,3 \cdot (390,5 - 59,5) \\ &= 297362223247157 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka ,

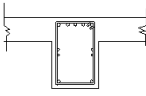
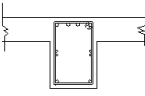
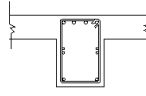
$$\phi \cdot M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 297362223247157 > 109142648$$

$$0,8 \cdot 297362223247157 > 109142648$$

$$23789779 \text{ Nmm} > 109142648 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

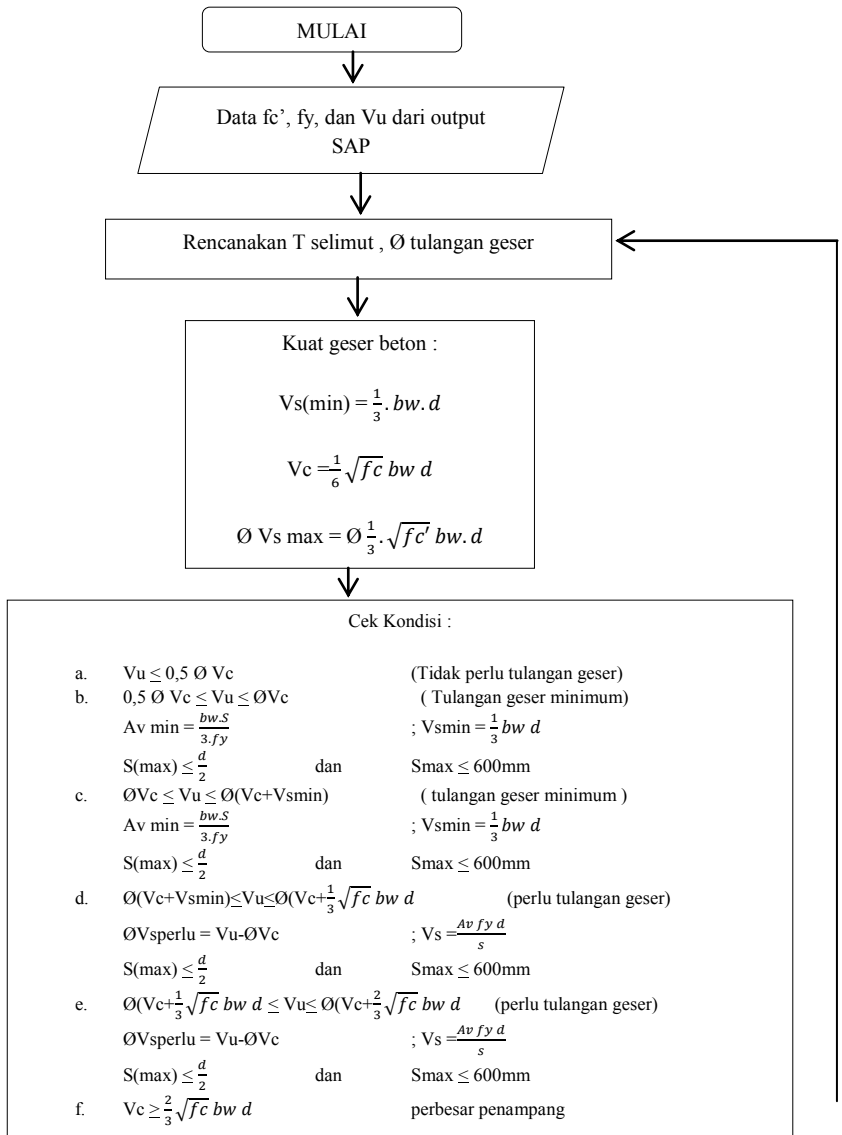
Jadi penulangan BI (30/45) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19

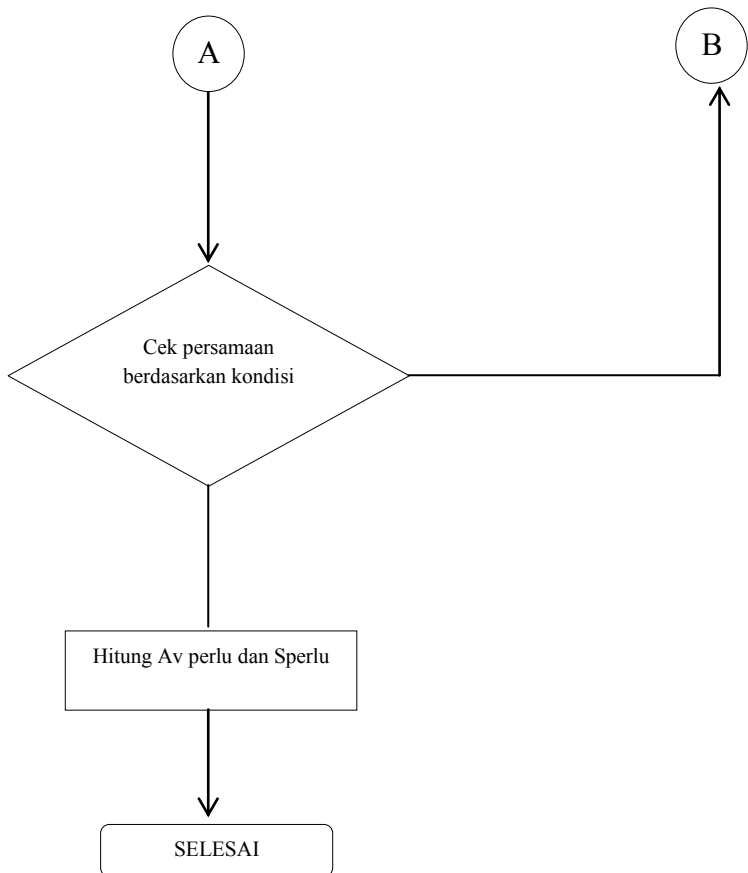
LANTAI 4			
a.s	5, G-H		
Type	BI-1 MEMANJANG		
Posisi	TUMPUAN KIRI	TUMPUAN LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
Dlm	300x 450 mm		
			
Tul.Ats	5 D 19	4 D 19	4 D 19
Tul.Bwh	2 D 19	2 D 19	2 D 19
Torsi	4 D 10	4 D 10	4 D 10
Sengk	∅ 10 - 95 mm	∅ 10 - 95 mm	∅ 10 - 95 mm

Gambar 4.6 9 Sketsa hasil perhitungan

4.6.1.3 Perhitungan Tulangan Geser

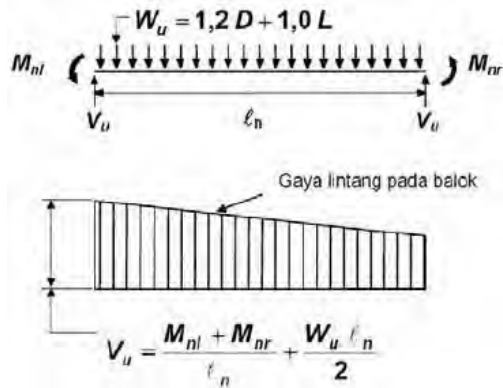
Berikut ini diagram alur perhitungan tulangan geser balok:





Dengan data balok sebagai berikut :

$f_c' = 30 \text{ Mpa}$
 $f_y = 240 \text{ Mpa}$
 $\beta_1 = 0,85$
 $\phi \text{ reduksi geser} = 0,75$
 Lebar (b) = 300 mm
 Tinggi (h) = 450 mm
 Dtul.sengkan = 10 mm
 Momen tulangan terpasang



Gambar 4.6 10 Persamaan geser untuk balok SRPMM

Tulangan terpasang 5D19

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 1418 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1418 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 88,95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{kiri}}} &= A_{s_{\text{pasang}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1418 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(390,5 - \frac{88,95}{2}\right) \\
 &= 196216008 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Tulangan terpasang 2D19

$$A_{s'_{\text{pasang}}} = 567,1 \text{ mm}^2$$

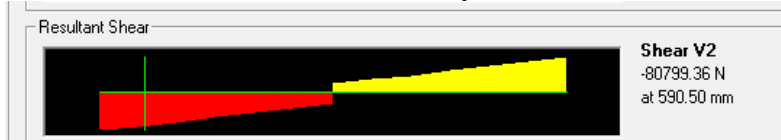
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{567,1 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 35,58 \text{ mm}$$

$$M_{n_{\text{kanan}}} = A_{s'_{\text{pasang}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(390,5 - \frac{35,58}{2}\right)$$

$$= 84539187,74 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D+1,0L dari analisa SAP 2000 didapatkan :



Gambar 4.6 11 Gaya geser output SAP 2000

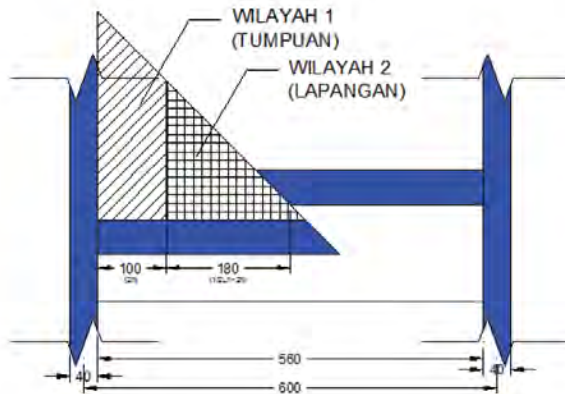
Gaya geser terfaktor $V_u = 80799,36 \text{ N}$

Dimana V_u diambil tepat pada as kolom

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi 2 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 daerah tumpuan sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom kearah tengah bentang
(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.2)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari jarak wilayah 1 sampai $\frac{1}{2}$ bentang balok



Gambar 4.6 12 Pembagian wilayah geser pada balok

Syarat kuat tekan beton :

Nilai $\sqrt{f_c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $\frac{25}{3}$ Mpa

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.1.1(2))

$$\sqrt{f_c} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{25} \leq \frac{25}{3}$$

$$5 \leq 8,33 \quad (\text{memenuhi})$$

Kuat geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 390,5$$

$$V_c = 97625 \text{ N} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.3})$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 390,5$$

$$= 39050 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{3} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 390,5 \\
 &= 195250 \text{ N} \\
 2 \text{ } V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{2}{3} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 390,5 \\
 &= 390500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Penulangan geser balok

Pada wilayah 1 (daerah tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2} \\
 &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 13.3)}
 \end{aligned}$$

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal actual balok daerah tumpuan kiri

M_{nr} = Momen nominal actual balok daerah tumpuan kanan

l_n = Panjang bersih balok

Maka V_{u1}

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{196216008 + 84539187,74}{5600} + 80799,36 \\
 &= 127591,89 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser :

1. Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \quad (\text{Tidak perlu tulangan geser})$$

$$127591,89 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 97625 \text{ N}$$

$$127591,89 \text{ N} \geq 36609 \text{ N} \quad \text{(Tidak Memenuhi)}$$

2. Kondisi 2

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c$$

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 97625 \text{ N} \leq 127591,89 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 97625 \text{ N}$$

$$36609,375 \text{ N} \leq 127591,89 \text{ N} \geq 73219 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

3. Kondisi 3

$$\begin{aligned}\phi \cdot V_c &\leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{s \min}) \\ 0,75 \cdot 97625 \text{ N} &\leq 127591,89 \text{ N} \leq 0,75 \cdot (97625 \text{ N} + 39050) \\ 73218,75 \text{ N} &\leq 127591,89 \text{ N} \leq 102506,25 \text{ N} \\ &\textbf{(Tidak memenuhi)}\end{aligned}$$

4. Kondisi 4

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_c + V_{s \min}) &\leq V_u \leq \phi^* (V_c + V_{s \max}) \\ 0,75 \cdot (97625 \text{ N} + 39050 \text{ N}) &\leq 127591,89 \text{ N} \leq \\ 0,75 \cdot (97625 \text{ N} + 195250 \text{ N}) & \\ 102506,25 \text{ N} &\leq 127591,89 \text{ N} \leq 219656,25 \text{ N} \\ &\textbf{(memenuhi)}\end{aligned}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan *Kondisi 4*

$$\begin{aligned}V_{s \text{ perlu}} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ V_{s \text{ perlu}} &= \frac{127591,89 - 0,75 \cdot 97625 \text{ N}}{0,75} \\ V_{s \text{ perlu}} &= 72497,52 \text{ N}\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki , maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}A_v &= 0,25 \pi \cdot d^2 \cdot n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \pi \cdot 10^2 \cdot 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot f_{yv} \cdot d}{V_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{157,08 \cdot 240 \cdot 390,5}{72497,52} \\ &= 203,06 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan berdasarkan *Kondisi 4*

$$\begin{aligned}S_{\max} &\leq \frac{d}{2} \\ 203,06 \text{ mm} &\leq \frac{390,5}{2} \\ 203,06 \text{ mm} &\leq 195,3 \\ S_{\max} &\leq 600 \text{ mm} \\ &\textbf{(tidak memenuhi)}\end{aligned}$$

203,06mm \leq 600mm (memenuhi)
 Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-90

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.104.2 pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50mm dari muka perletakan .

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $S = \frac{d}{4}$
- $S = 8 \cdot D_{tul.utama}$
- $S = 24 \cdot D_{tul.sengkang}$
- 300 mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.(2))

- | | | | |
|---|------------------|-----------------------------|------------|
| ❖ | $S_{pakai} \leq$ | S_{perlu} | |
| | 90mm \leq | 203,06 | (memenuhi) |
| ➤ | $S_{pakai} \leq$ | $\frac{d}{4}$ | |
| | 90mm \leq | 97,6mm | (memenuhi) |
| ➤ | $S_{pakai} \leq$ | $8 \cdot D_{tul.utama}$ | |
| | 90 mm \leq | 152mm | (memenuhi) |
| ➤ | $S_{pakai} \leq$ | $24 \cdot D_{tul.sengkang}$ | |
| | 90mm \leq | 240 mm | (memenuhi) |
| ➤ | $S_{pakai} \leq$ | 300 | |
| | 90mm \leq | 300 | (memenuhi) |

Jadi penulangan geser balok untuk balok BI (30/45) pada wilayah 1 (daerah tumpuan) dipasang D10-90mm dengan sengkang 2 kaki .

Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \cdot (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{127591,89 \cdot (\frac{1}{2}6000 - 2.450)}{\frac{1}{2}6000}$$

$$Vu2 = 89314,32 \text{ N}$$

Cek Kondisi Geser :

1. Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot Vc \quad (\text{Tidak perlu tulangan geser})$$

$$89314,32 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 97625 \text{ N}$$

$$89314,32 \text{ N} \geq 36609 \text{ N} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

2. Kondisi 2

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot Vc \leq Vu \leq \emptyset \cdot Vc$$

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 97625 \text{ N} \leq 127591,89 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 97625 \text{ N}$$

$$36609,375 \text{ N} \leq 89314,32 \text{ N} \leq 73219 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

3. Kondisi 3

$$\emptyset \cdot Vc \leq Vu \leq \emptyset \cdot (Vc + Vs \text{ min})$$

$$0,75 \cdot 97625 \text{ N} \leq 89314,32 \text{ N} \leq 0,75 \cdot (97625 \text{ N} + 39050)$$

$$73218,75 \text{ N} \leq 89314,32 \text{ N} \leq 102506,25 \text{ N}$$

(memenuhi)

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10mm dengan 2 kaki ,
maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \pi \cdot d^2 \cdot n_{kaki} \\ &= 0,25 \pi \cdot 10^2 \cdot 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v_{perlu}} &= A_v + \frac{At}{s} \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 + 0,21 \text{ mm}^2 \\ &= 157,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{A_v \cdot f_{yv} \cdot 3}{\frac{bw}{300}} \\ &= \frac{157,29 \cdot 240 \cdot 3}{300} \\ &= 377,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan berdasarkan *Kondisi 3*

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq \frac{d}{2} \\ 377,1 \text{ mm} &\leq \frac{390,5}{2} \end{aligned}$$

$$377,1 \text{ mm} \leq 195,3 \quad \textbf{(tidak memenuhi)}$$

$$S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$377,1 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-150

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.104.2 pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari 50mm dari muka perletakan .

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

$$\text{➤ } S = \frac{d}{4}$$

$$\text{➤ } S = 8 \cdot D_{\text{tul.utama}}$$

$$\text{➤ } S = 24 \cdot D_{\text{tul.sengkang}}$$

$$\text{➤ } 300 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.(2))

❖	$S_{\text{pakai}} \leq$	Sperlu	
	150mm \leq	377,1	(memenuhi)
➤	$S_{\text{pakai}} \leq$	$8 \cdot D_{\text{tul.utama}}$	
	150mm \leq	152mm	(memenuhi)
➤	$S_{\text{pakai}} \leq$	$24 \cdot D_{\text{tul.senggang}}$	
	150mm \leq	240 mm	(memenuhi)
➤	$S_{\text{pakai}} \leq$	300	
	150mm \leq	300	(memenuhi)

Jadi penulangan geser balok untuk balok BI (30/45) pada wilayah 2 (daerah lapangan dipasang D10-150mm dengan sengkang 2 kaki .

4.6.1.4 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap panampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2002 pasal 14**.

▪ Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2002 pasal 14.2**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.2.1)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2002 tabel 11 pasal 14.2** sebagai berikut

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut beton bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang ℓ_d tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f'_c}}$

Gambar 4.6 13 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

Dimana ;

 ℓ_d = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai α = faktor lokasi penulangan β = faktor pelapisUntuk α dan β menggunakan ketentuan pada **SNI 03-2847-2002****tabel 11 pasal 14.4** Gambar 4.6.14 dibawah ini :

α = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
β = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

Gambar 4.6 14 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

λ = faktor beton agregat ringan

λ = faktor beton agregat ringan	
Apabila digunakan beton agregat ringan	1,3
Walaupun demikian, apabila f_{ct} disyaratkan, maka λ boleh diambil sebesar $\sqrt{f'_c} / (1,8f_{ct})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Apabila digunakan beton berat normal	1,0

Gambar 4.6 15 Faktor Agregat Ringan

SNI 03-2847-2002 tabel 11 pasal 14.4

$$\frac{ld}{db} = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \cdot \sqrt{f'_c}} \geq 300mm$$

$$ld = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda \cdot db}{25 \cdot \sqrt{f'_c}} \geq 300mm$$

$$ld = \frac{12 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 19}{25 \cdot \sqrt{25}} \geq 300mm$$

$$ld = 1094,4mm \geq 300mm$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{pasang}}} \cdot \lambda d \\ &= \frac{1095,84}{1134} \cdot 1094,4 \\ &= 1058 \text{ mm} \approx 1100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1100 mm

▪ Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI-03-2847-2002 pasal 14.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.5.1)

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.5.2 panjang penyaluran dasar untuk batang tulangan tarik pada penampang tepi atau yang berakhir dengan kaitan dengan f_y sama dengan 400 MPa adalah :

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot db}{\sqrt{f_c}} \geq 8 \cdot db$$

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot 19}{\sqrt{25}} \geq 8 \cdot 19$$

$$l_{hb} = 380 \text{ mm} \geq 152 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Reduksi Panjang Penyaluran (tulangan lebih)

$$\begin{aligned} l_{direduksi} &= \frac{A_{spertu}}{A_{spasang}} l_{hb} \\ &= \frac{1095,84}{1134} \cdot 380 \\ &= 367,21 \text{ mm} \approx 370 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 370mm

- Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.3
Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.3.1)

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.3.2. panjang penyaluran diambil sebesar :

$$ldb = \frac{db \cdot f_y}{4\sqrt{f_c'}} \geq 0,04 \cdot db \cdot f_y$$

$$ldb = \frac{19 \cdot 400}{4\sqrt{25}} \geq 0,04 \cdot 19 \cdot 400$$

$$ldb = 380 \text{ mm} \geq 304 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$l_{direduksi} = \frac{A_{asperlu}}{A_{spasang}} \cdot ldb$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1095,84}{1134} \cdot 380 \\
 &= 367,21 \text{ mm} \approx 370 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.6.1.5 Kontrol Retak

Bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 30Mpa, maka penampang dengan momen positif dan negative maksimum harus direncanakan sedemikian hingga nilai :

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} < 30 \text{ Mpa}$$

(untuk penampang di dalam ruangan) dan

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} < 25 \text{ Mpa}$$

(untuk penampang yang dipengaruhi oleh cuaca luar)

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.6.4)

$$\begin{aligned}
 d_c &= \text{decking} + (0,5 D_{\text{lentur}}) \\
 &= 40 \text{ mm} + (0,5 \cdot 19 \text{ mm}) \\
 &= 49,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{2 \cdot dc \cdot b}{n} \\
 &= \frac{2 \cdot 49,5 \cdot 300}{4} \\
 &= 7425 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

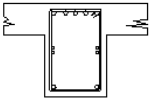
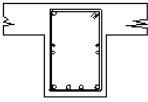
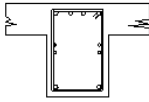
$$\begin{aligned}
 Z &= f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} \\
 &= 0,6 \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} \\
 &= 0,6 \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{49,5 \cdot 7425} \\
 &= 17191,42 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$Z = 17,19142 \text{ KN/mm}^2 < 30 \text{ KN/mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Sebagai alternative terhadap perhitungan nilai z , dapat dilakukan dengan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh :

$$\begin{aligned}
 \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_y \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} \\
 \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 400 \cdot \sqrt[3]{49,5 \cdot 7425} \\
 \omega &= 0,267 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai lebar retak yang diperolehkan tidak boleh melebihi 0,4mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana $\beta = 0,85$ untuk $f_c' \leq 30$ Mpa.

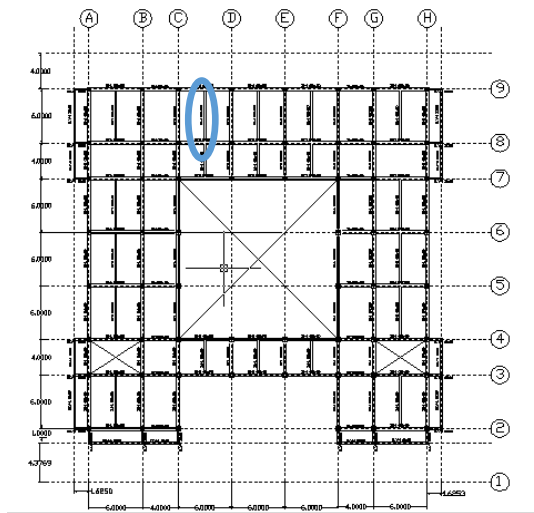
LANTAI 4			
as	5, G-H		
Type	BI-1 MEMANJANG		
Posisi	TUMPUAN KIRI	TUMPUAN LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
Dim	300x 450 mm		
			
Tul.Ats	5 D 19	2 D 19	4 D 19
Tul.Bwh	2 D 19	4 D 19	2 D 19
Torsi	4 D 10	4 D 10	4 D 10
Sengk	Ø 10 - 90 mm	Ø 10 - 150 mm	Ø 10 - 90 mm

Gambar 4.6 16 Pembagian Wilayah Geser pada Balok

4.6.2 Perhitungan Penulangan Balok Anak

a. Data Perencanaan

Dalam perhitungan balok akan dibahas penulangan balok anak as H-I 30/40 cm yang berada pada lantai 3 dengan elevasi $\pm 8,00$ m



Gambar 4.6 17 Lokasi Balok yang ditinjau

Adapun data balok adalah sebagai berikut :

Bentang balok = 6000 mm

Dimensi balok b = 300 mm

h = 400 mm

Dimensi Kolom b = 400 mm

h = 400 mm

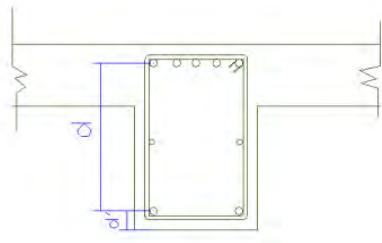
Tinggi Kolom = 4000 mm

Diameter Tulangan lentur = 19 mm

Diameter Tulangan geser = 10 mm

Diameter Tulangan torsi = 10 mm

Tebal selimut (t selimut)	= 40 mm [SNI 03-2847-2002 pasal 9.7.1.(c)]
Faktor β_1	= 0,85 [SNI-03-2847-2002 pasal 12.2.7.(3)]
Faktor reduksi kekuatan lentur	= 0,8 [SNI-03-2847-2002 pasal 11.3.2.(1)]
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75 [SNI-03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]
Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ)	= 0,75 [SNI-03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]
Mutu bahan	
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat leleh tulanga lentur(f_{yl})	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser(f_{yv})	= 240 Mpa
Tinggi efektif balok	
d	$= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} D_{\text{tul lentur}}$ $= 400\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} 19 \text{ mm}$ $= 340,5 \text{ mm}$
d'	$= t_{\text{selimut}} + D_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} D_{\text{tul lentur}}$ $= 40 \text{ mm} + 10\text{mm} + \frac{1}{2} 19 \text{ mm}$ $= 59,5 \text{ mm}$



Gambar 4.6 18 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil Output dari Analisa SAP 2000

Dari analisa SAP 2000, didapatkan gaya dalam yang dapat digunakan perhitungan penulangan. Adapun dalam pengambilan hasil output dari analisa SAP 2000 adalah gaya maksimum yang terjadi akibat beberapa macam kombinasi pembebanan, kombinasi pembebanan yang dipakai adalah kombinasi beban gravitasi dan beban gempa yang berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 11.2

Kombinasi pembebanan non-gempa :

1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2D + 1,6 L$
3. $U = 1,2 D + 1 L$

Kombinasi pembebanan gempa :

5. $U = 1,2D + 1L + 1Eq_x + 0,3Eq_y$
6. $U = 1,2D + 1L + 0,3Eq_x + 1Eq_y$
7. $U = 1D + 1L + 1 Eq_x + 0,3Eq_y$
8. $U = 1D + 1L + 0,3Eq_x + 1Eq_x$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D+1,0L+1Eq_x+0,3Eq_y$ adalah kombinasi kritis dalam pemodelan.

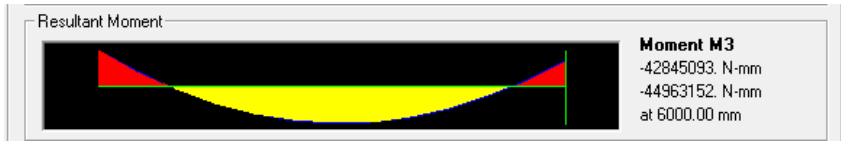
c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur .

Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI03-2847-2002 pasal 23.10.(4), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

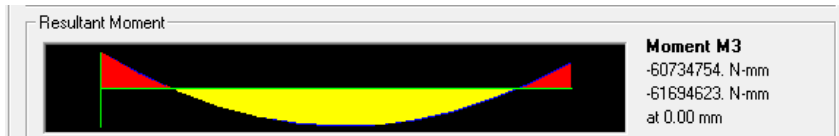
$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} = \frac{300 \times 400 \times 25 \text{ N/mm}^2}{10} = 300000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat



Gambar 4.6 19 Diagram daerah tumpuan kanan akibat beban gravitasi dan gempa

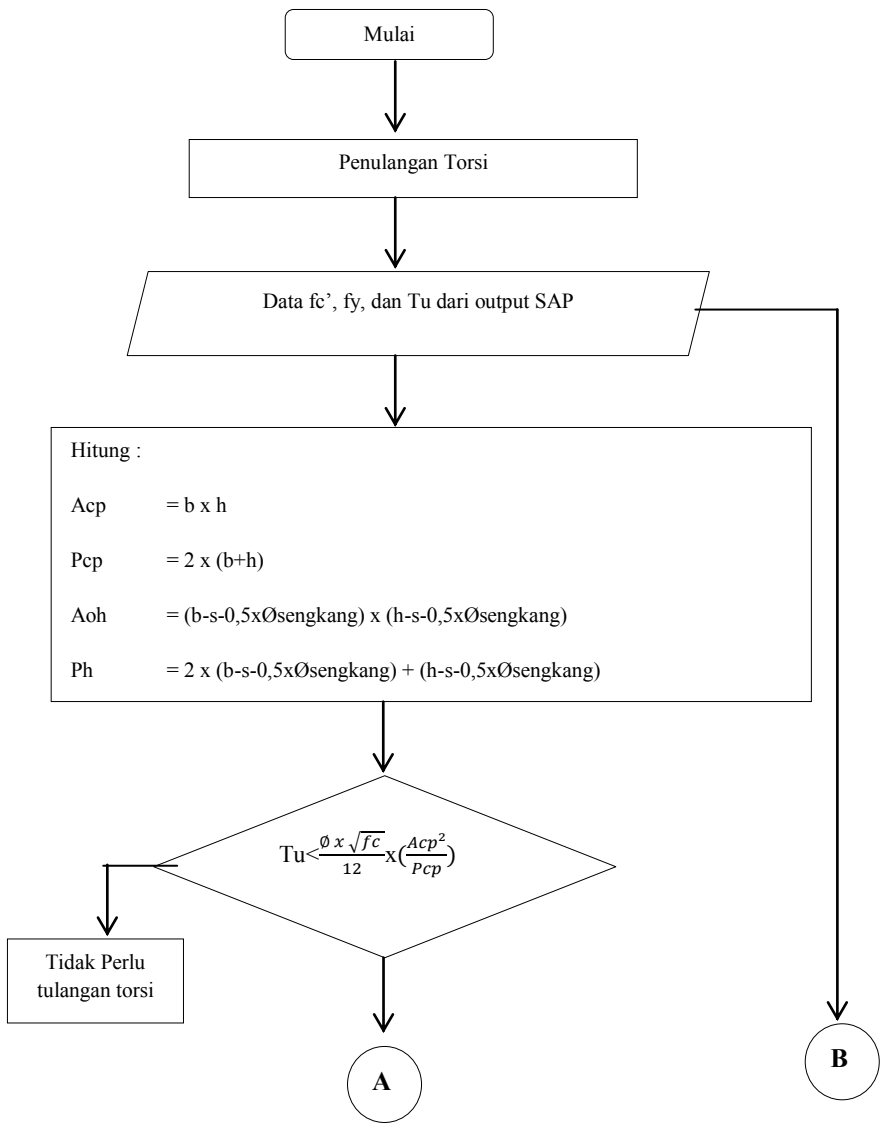
kombinasi gaya gempa dan gravitasi pada komponen struktur sebesar $4432.68 \text{ N} < 337500 \text{ N}$

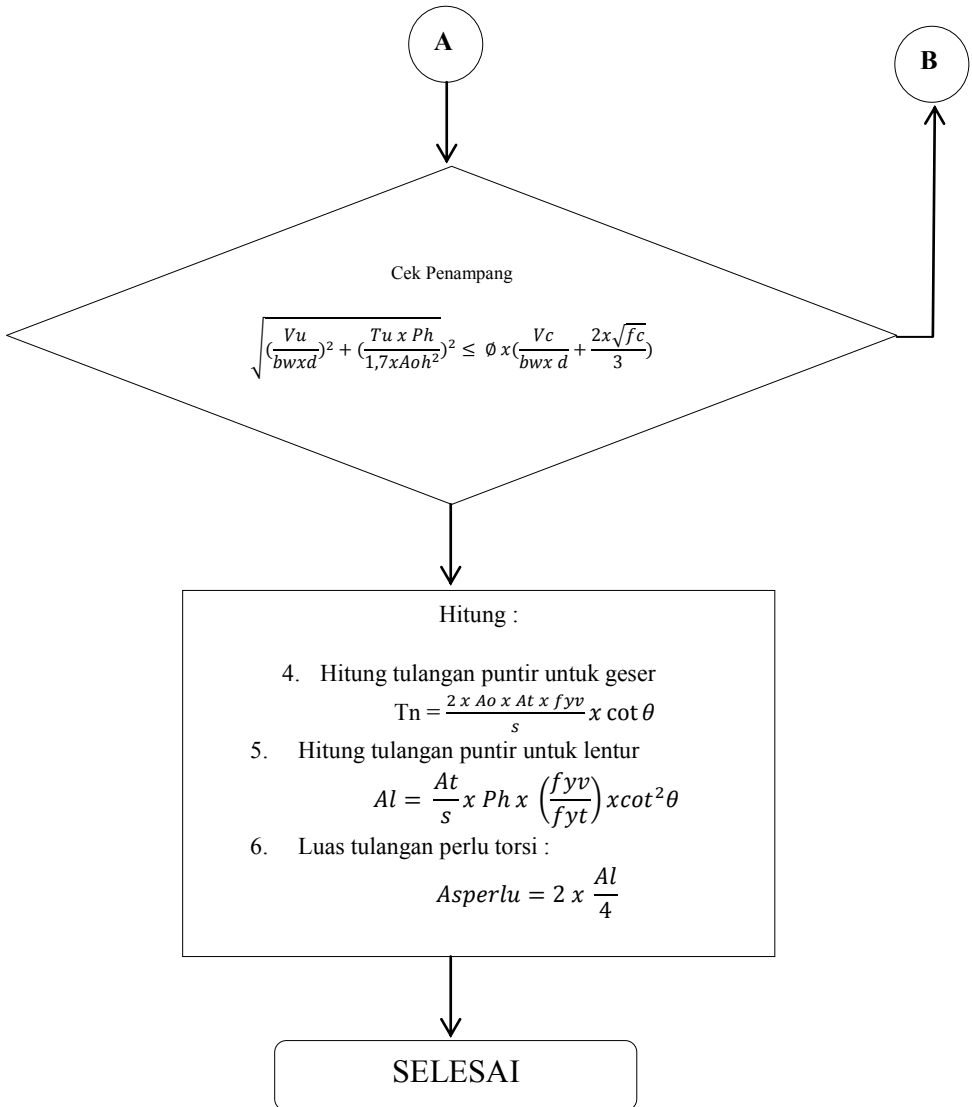


Gambar 4.6 20 Diagram daerah tumpuan kiri akibat beban gravitasi dan gempa

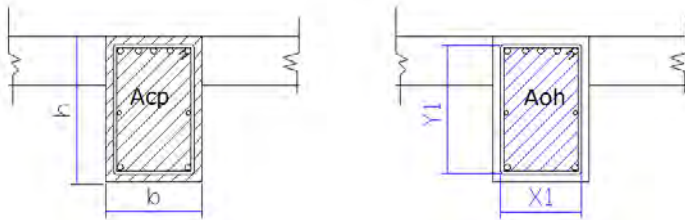
4.6.2.1 Perhitungan Tulangan Torsi

Berikut ini diagram alur perhitungan tulangan torsi balok :





- Momen Puntir Ultimate
 $T_u = 1191093,93 \quad \text{Nmm (Output SAP)}$
- Momen Puntir Nominal
 $T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{4969508,66}{0,75} = 1588125,24 \text{ Nmm}$
- Cek, apakah diperlukan tulangan torsi
 Luas yang dicakup oleh keliling luar, lihat **Gambar 4.6.7**



Gambar 4.6 19 Luasan Acp dan Aoh

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan
 $A_{cp} = b \cdot h = 300 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm} = 120000 \text{ mm}^2$
- Parameter luas irisan penampang beton A_{cp}
 $P_{cp} = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) = 1400 \text{ mm}^2$
- Cek pengaruh momen torsi

$$\phi \cdot T_n = \phi \cdot \frac{\sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}^2}{12 \cdot P_{cp}}$$

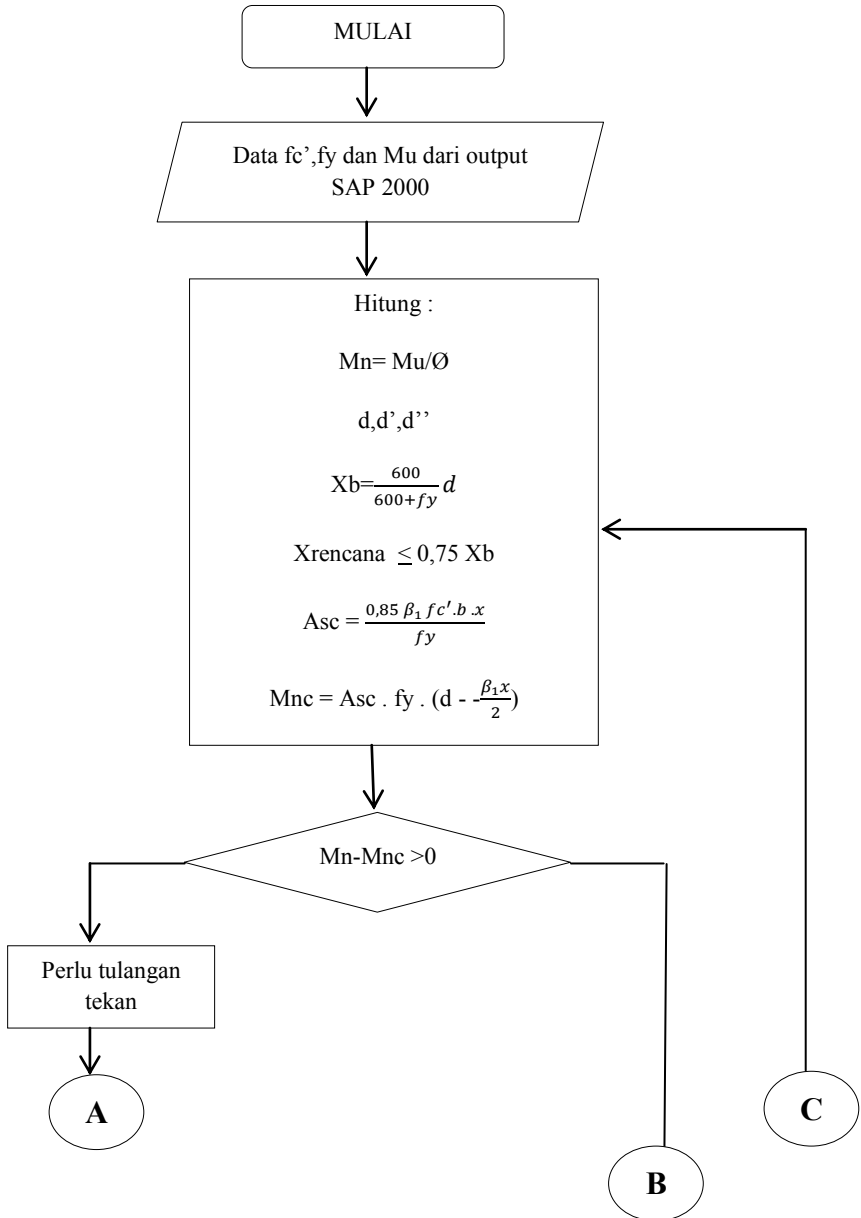
$$\phi \cdot T_n = 0,75 \times \frac{\sqrt{25 \text{ N/mm}^2}}{12} \cdot \frac{(120000 \text{ mm}^2)^2}{1400 \text{ mm}^2}$$

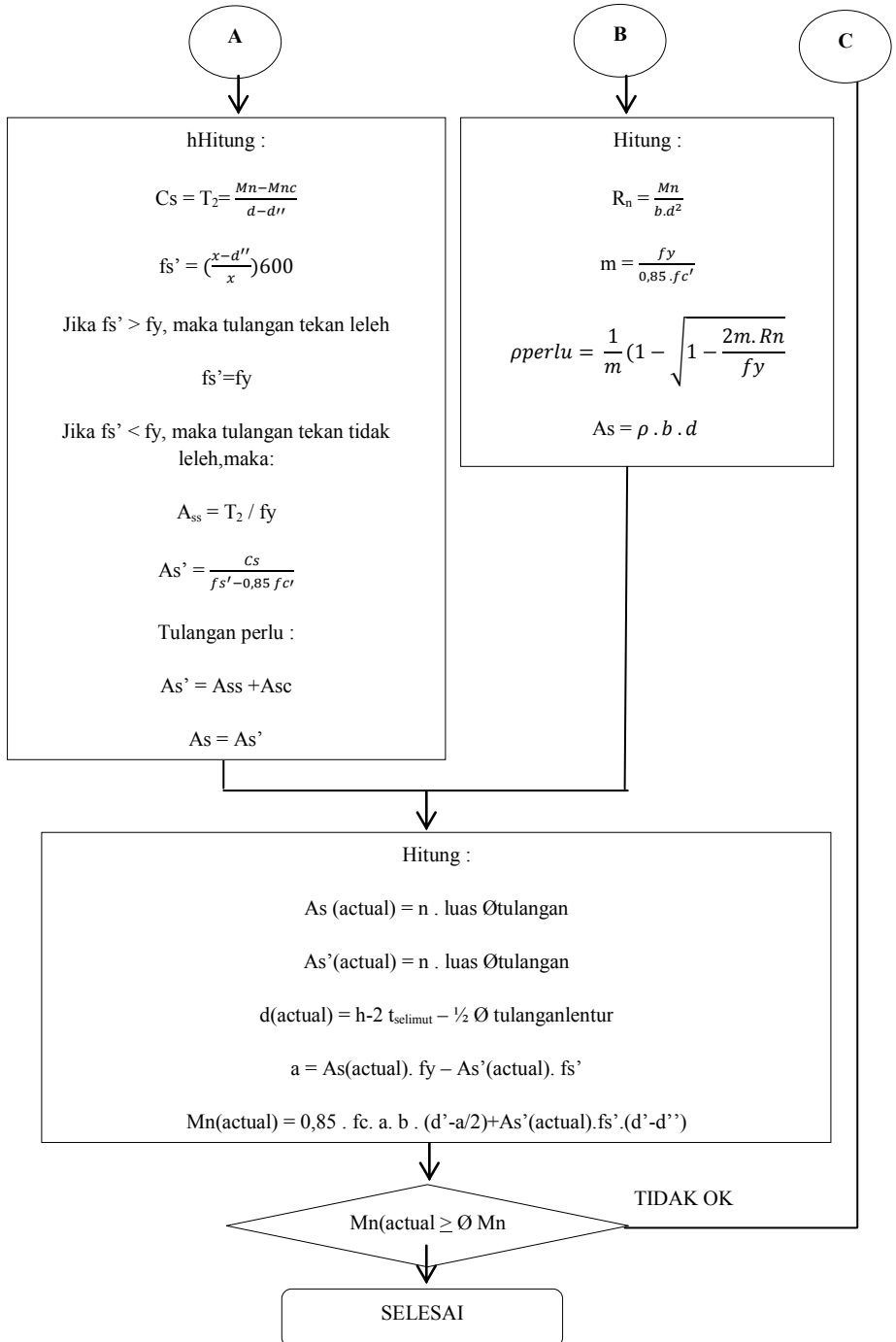
$$\phi \cdot T_n = 3214285,71 \text{ Nmm} > T_u = 1191093,93 \text{ Nmm}$$

(Tulangan torsi tidak diperlukan, pakai tulangan torsi minimum 2D10)

4.6.2.2 Perhitungan Tulangan Lentur

Berikut ini diagram alur perhitungan tulangan lentur balok :





- Garis netral kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \cdot 340,5 \\ &= 204,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral maximum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \cdot 204,3 \text{ mm} \\ &= 175,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 541875 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas tulangan lntur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y}$$

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100}{400} \\ &= 1354,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ M_{nc} &= 1354,69 \cdot 400 \cdot \left(340,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2} \right) \\ M_{nc} &= 161478750 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

❖ **DAERAH TUMPUAN KIRI**

Diambil momen terbesar , akibat dari kombinasi
 $1,2D+1,0L+1,0E_{qx}+0,3E_{qy}$

- Mu tumpuan = 61679174 Nmm
- Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{Mu_{tumpuan}}{\phi} = 77098967,5 \text{ Nmm}$$

- Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ \longrightarrow maka perlu tulangan lentur tekan
 $M_{ns} \leq 0$ \longrightarrow maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 77098967,5 \text{ Nmm} - 161478750 \text{ Nmm} \\ &= -84379782,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka , $M_{ns} = -84379782,5 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

- Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} \bullet \quad R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{77098967,5 \text{ Nmm}}{300 \cdot 340,5^2} \\ &= 2,22 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\ &= 18,82 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

- $\rho_{balance} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{600}{600+f_y}\right)$

$$\rho_{balance} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{25}{400}\right) \cdot \left(\frac{600}{600+400}\right)$$

$$\rho_{balance} = 0,027$$

- $\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{balance}$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot 0,027$$

$$\rho_{\max} = 0,020$$

- $\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}}\right)$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{18,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 2,22}{400}}\right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,006$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{perlu} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,006 < 0,020 \quad (\text{memenuhi})$$

- Luas tulangan tarik pakai

$$A_s = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,006 \cdot 300\text{mm} \cdot 340,5\text{ mm}$$

$$= 599,1\text{ mm}^2$$

- Luas tulangan perlu lentur ditambah luasan tambah torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s\text{ perlu}} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 599,1\text{mm}^2 + 155,81\text{ mm}^2$$

$$= 754,95\text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$$

$$n = \frac{754,95 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 2,663 \approx 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 3 D19

- Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$As \text{ pasang} = n \cdot Luasan Dlentur$$

$$= 3 \cdot 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 850,6 \text{ mm}^2$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{rcl} As \text{ pasang} & \geq & As \text{ perlu} \\ 850,6 \text{ mm}^2 & \geq & 754,95 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{array}$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan tekan

$$As' = 0$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$As'_{\text{perlu}} = As + \frac{A_t}{4}$$

$$= 0 + 155,81$$

$$= 155,81 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$$

$$n = \frac{155,81 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 0,55 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

- Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$As \text{ pasang} = n \cdot Luasan Dlentur$$

$$= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{rcl} \text{As pasang} & \geq & \text{As perlu} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 155,81 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{array}$$
- Kontrol jarak spasi tulangan pakai
 Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 3 D 19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

Kontrol Tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (jmlh \text{ tul } D_{\text{lentur}})}{jumlah \text{ tulangan} - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (3 \cdot 19 \text{ mm})}{3 - 1}$$

$$= 71,50 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{rcl} S_{\max} & \geq & S_{\text{sejajar}} \\ 71,50 \text{ mm} & \geq & 25 \text{ mm (memenuhi)} \end{array}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok BA-1 (30/40) untuk daerah tumpuan kiri :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis
Lapis 1 = 3 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19

➤ **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2002,pasal 23.10.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

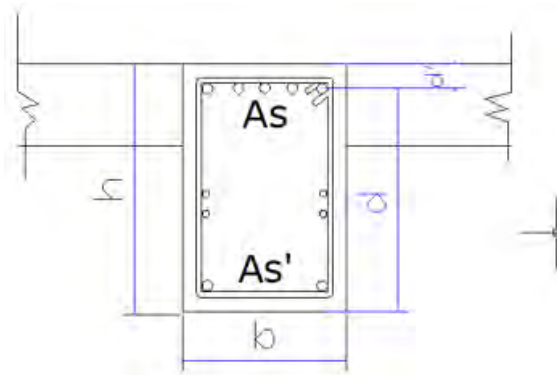
$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= 3 \text{ D } 19 \\ &= 3 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 850,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As' pasang} &= 2 \text{ D } 19 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{M lentur tumpuan (+)} &\geq \frac{1}{3} \cdot \text{M lentur tumpuan (-)} \\ 850,6 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \cdot 850,6 \text{ mm}^2 \\ 850,6 \text{ mm}^2 &\geq 283,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)}\end{aligned}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri , dipasang tulangan :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis = 3 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D 19



Gambar 4.6 20 Tinggi efektif balok

➤ **Kontrol kemampuan penampang**

$$\begin{aligned}\text{d actual} &= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{tulangan sengkang}} - D_{\text{tul. lentur}} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 400\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - 19\text{mm} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$= 321 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 \\ &= \left(1 - \frac{59,5}{100}\right) \cdot 600 \\ &= 243 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{(850,6 \cdot 400 - 567,1 \cdot 243)}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 31,76 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 31,76 \text{ mm} \\ &= 202439,51 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot f_s' \\ &= 567,1 \cdot 243 \\ &= 137805,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{\text{pasang}}} &= C_c' \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{renc}}{2}\right) + C_s' \cdot (d - d') \\ &= 202439,51 \left(340,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2}\right) + 567,1 \cdot (340,5 - 59,5) \\ &= 104129109680481 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka ,

$$\emptyset \cdot M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 104129109680481 > 61679174$$

$$833032877 > 61679174 \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi penulangan BA (30/40) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 3D19 dan tulangan tekan 2D19

❖ DAERAH LAPANGAN

Diambil momen terbesar , akibat dari kombinasi
 $1,2D+1,0L+0,3Eq_x+1Eq_y$

- Mu lapangan = 62578678,12 Nmm
- Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_{utumpuan}}{\phi} = 78223347,65 \text{ Nmm}$$

- Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$$M_{ns} > 0$$

$$M_{ns} \leq 0$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

➔ maka perlu tulangan lentur tekan

➔ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$= 78223347,65 \text{ Nmm} - 188572500 \text{ Nmm}$$

$$= -83255402,35 \text{ Nmm}$$

Maka , $M_{ns} = -83255402,35 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

- Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} \bullet \quad R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{78223347,65 \text{ Nmm}}{300 \cdot 340,5^2} \\ &= 2,25 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\ &= 18,82 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

- $\rho_{balance} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{600}{600+f_y}\right)$

$$\rho_{balance} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{25}{400}\right) \cdot \left(\frac{600}{600+400}\right)$$

$$\rho_{balance} = 0,027$$

- $\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{balance}$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot 0,027$$

$$\rho_{\max} = 0,020$$

- $\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}}\right)$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{18,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 2,25}{400}}\right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,006$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{perlu} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,006 < 0,020 \quad (\text{memenuhi})$$

- Luas tulangan tarik pakai

$$A_s = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,006 \cdot 300\text{mm} \cdot 340,5\text{ mm}$$

$$= 357,5\text{mm}^2$$

- Luas tulangan perlu lentur ditambah luasan tambah torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 357,5\text{ mm}^2 + 155,81\text{ mm}^2$$

$$= 513,33\text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$$

$$n = \frac{513,33 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 1,811 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

- Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$As \text{ pasang} = n \cdot Luasan Dlentur$$

$$= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$

- Kontrol :

$$As \text{ pasang} \geq As \text{ perlu}$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 513,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan tekan

$$As' = 0$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$As'_{\text{perlu}} = As + \frac{A_t}{4}$$

$$= 0 + 155,81$$

$$= 155,81 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$$

$$n = \frac{155,81 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 0,531 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

- Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$As \text{ pasang} = n \cdot Luasan Dlentur$$

$$= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{lcl} \text{As pasang} & \geq & \text{As perlu} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 155,81 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$
- Kontrol jarak spasi tulangan pakai
 Syarat :

$$\begin{array}{lcl} S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} & \longrightarrow & \text{susun 1 lapis} \\ S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} & \longrightarrow & \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{array}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 2 D 19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

Kontrol Tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (\text{jmlh tul } D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{lcl} S_{\max} & \geq & S_{\text{sejajar}} \\ 162 \text{ mm} & \geq & 25 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok BA-1 (30/40) untuk daerah lapangan :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19

➤ Kontrol kemampuan penampang (*lihat gambar 4.6.8*)

$$\begin{aligned} d_{\text{actual}} &= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{tulangan sengkang}} - D_{\text{tul.lentur}} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 321 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 \\ &= \left(1 - \frac{59,5}{100}\right) \cdot 600 \\ &= 243 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$a = \frac{(As \cdot fy - As' \cdot fs')}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{(567,1 \cdot 400 - 567,1 \cdot 243)}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 31,76 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot fc' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 49,5 \\ &= 202439,51 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As' \cdot pasang \cdot fs \\ &= 567,1 \cdot 243 \\ &= 137794,96 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn_{pasang} &= Cc' \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{renc}}{2} \right) + Cs' \cdot (d - d') \\ &= 202439,51 \left(340,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2} \right) + 137794,96 \cdot (340,5 - 59,5) \\ &= 1041291096804 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka ,

$$\phi \cdot Mn_{pasang} > Mu$$

$$0,8 \cdot 1041291096804 > 62578678,12$$

$$8330328774 > 62578678,12 \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi penulangan BA (30/40) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19

❖ DAERAH TUMPUAN KANAN

Diambil momen terbesar , akibat dari kombinasi

$$1,2D+1,0L+0,3Eq_x+1Eq_y$$

$$\text{➤} \quad Mu_{tumpuan} = 47066951 \quad \text{Nmm}$$

$$\text{➤} \quad \text{Momen lentur nominal (Mn)}$$

$$Mn = \frac{Mu_{tumpuan}}{\phi} = 58833688,75 \text{ Nmm}$$

$$\text{➤} \quad \text{Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &> 0 && \longrightarrow && \text{maka perlu tulangan lentur tekan} \\
 M_{ns} &\leq 0 && \longrightarrow && \text{maka tidak perlu tulangan lentur tekan} \\
 M_{ns} &= M_n - \overline{M_{nc}} && \longrightarrow && \\
 &= 58833688,75 \text{ Nmm} - 188572500 \text{ Nmm} \\
 &= -102645061,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka , $M_{ns} = -102645061,3 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

➤ Perencanaan Tulangan lentur tunggal

- $$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{58833688,75 \text{ Nmm}}{300 \cdot 340,5^2} \\
 &= 1,69 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
 &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\
 &= 18,82
 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{400} \\
 \rho_{\min} &= 0,0035
 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 \rho_{\text{balance}} &= 0,85 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{25}{400} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 \rho_{\text{balance}} &= 0,027
 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}} \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot 0,027
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,020$$

$$\bullet \quad \rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}}\right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{18,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,2 \cdot 1,69}{400}}\right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,004$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,004 < 0,020 \quad (\text{memenuhi})$$

- Luas tulangan tarik pakai

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,004 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 340,5 \text{ mm}$$

$$= 450,7 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan perlu lentur ditambah luasan tambah torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 450,7 \text{ mm}^2 + 155,81 \text{ mm}^2$$

$$= 606,49 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{606,49 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 2,139 \approx 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 3 D19

- Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$A_s \text{ pasang} = n \cdot \text{Luasan Dlentur}$$

$$= 3 \cdot 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 850,6 \text{ mm}^2$$

- Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$$

$$1134 \text{ mm}^2 \geq 1095,84 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan tekan

$$As' = 0$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} As'_{\text{perlu}} &= As + \frac{At}{4} \\ &= 0 + 155,81 \\ &= 155,81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{Luasan Dlentur} \\ n &= \frac{155,81 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2} \\ n &= 0,55 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

- Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \cdot Luasan Dlentur \\ &= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{ccc} As_{\text{pasang}} & \geq & As_{\text{perlu}} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 150,65 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{array}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 3 D 19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

Kontrol Tulangan tarik

$$S_{\text{max}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (jmlh \text{ tul } D_{\text{lentur}})}{jumlah \text{ tulangan} - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - (2 \cdot 10\text{mm}) - (3 \cdot 19\text{mm})}{3-1}$$

$$= 71,5 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$71,50 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok BA-1 (30/45) untuk daerah tumpuan kanan :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis
Lapis 1 = 3 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19

➤ **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2002, pasal 23.10.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 3 \text{ D } 19 \\ &= 3 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 850,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 2 \text{ D } 19 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$\begin{aligned} 850,6 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \cdot 850,6 \text{ mm}^2 \\ 850,6 \text{ mm}^2 &\geq 283,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri , dipasang tulangan :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis = 3 D 19

✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D 19

➤ Kontrol kemampuan penampang (*lihat gambar 4.6.8*)

$$\begin{aligned} d_{\text{actual}} &= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{tulangan sengkang}} - D_{\text{tul.lentur}} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 321 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 \\ &= \left(1 - \frac{59,5}{100}\right) \cdot 600 \\ &= 243 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{(850,6 \cdot 400 - 567,1 \cdot 243)}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 31,76 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 31,76 \\ &= 202439,51 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot f_s' \\ &= 567,1 \cdot 243 \\ &= 137805,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{\text{pasang}}} &= C_c' \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot x_{\text{renc}}}{2}\right) + C_s' \cdot (d - d') \\ &= 202439,51 \left(340,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2}\right) + 137805,3 \cdot (340,5 - 59,5) \\ &= 1041291096804 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka ,

$$\phi \cdot M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

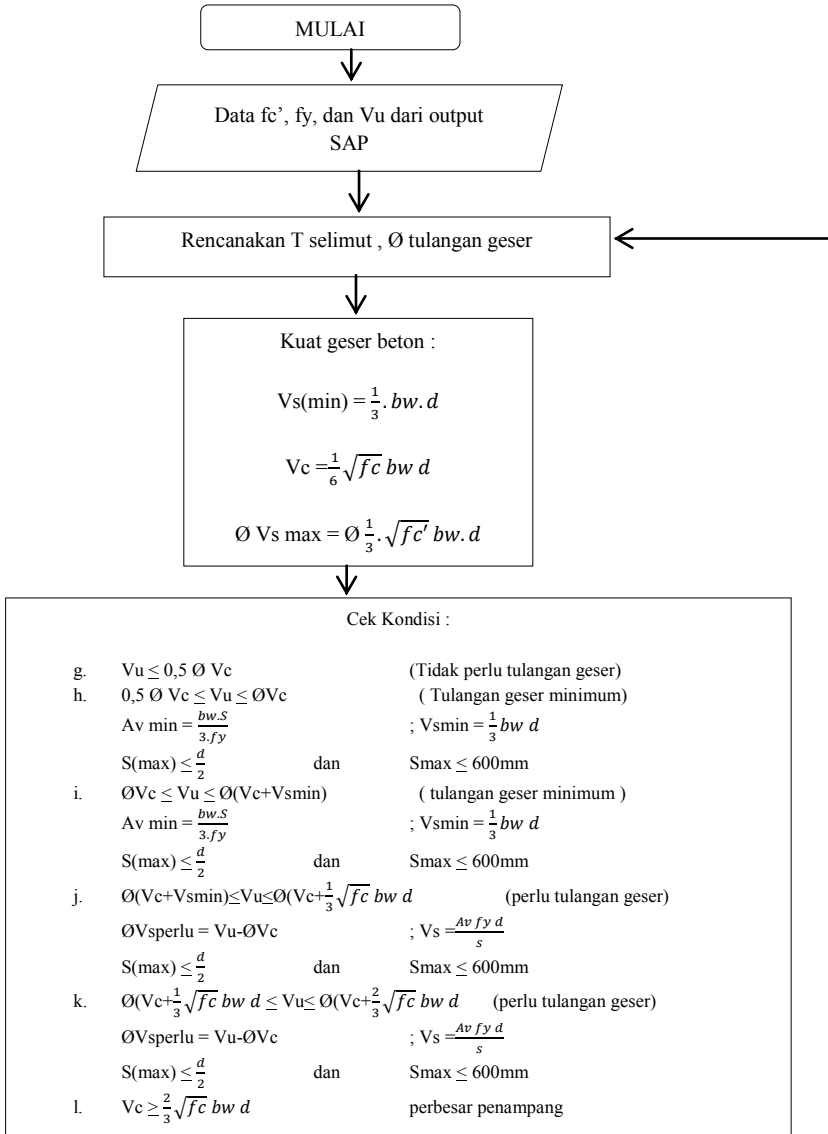
$$0,8 \cdot 1041291096804 > 47066951$$

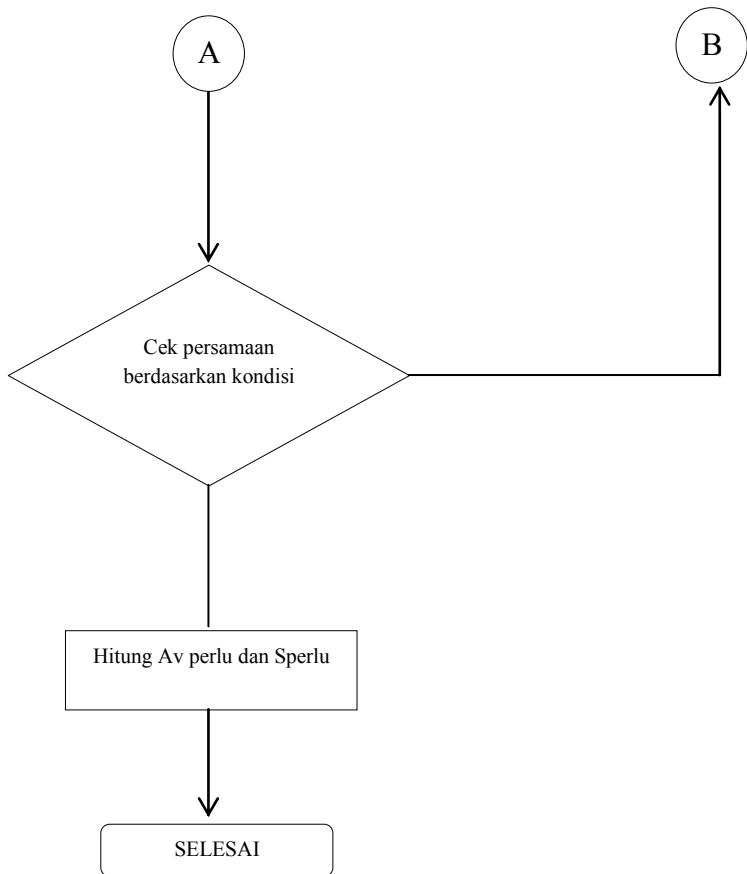
$$8330328777444 \text{ Nmm} > 47066951 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi penulangan BA (30/40) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 3D19 dan tulangan tekan 2D19

4.6.2.3 Perhitungan Tulangan Geser

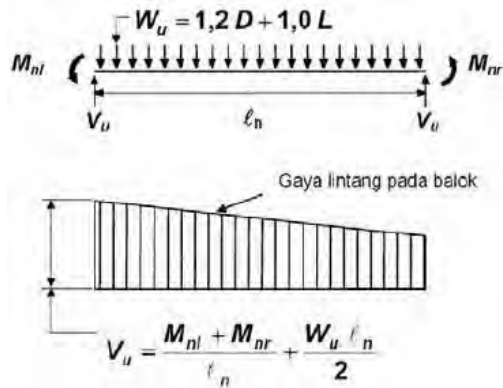
Berikut ini diagram alur perhitungan tulangan geser balok :





Dengan data balok sebagai berikut :

$f_c' = 30 \text{ Mpa}$
 $f_y = 240 \text{ Mpa}$
 $\beta_1 = 0,85$
 $\phi_{\text{reduksi geser}} = 0,75$
 Lebar (b) = 300 mm
 Tinggi (h) = 400 mm
 Dtul.sengkan = 10 mm
 Momen tulangan terpasang



Gambar 4.6 21 Persamaan geser untuk balok SRPMM

Tulangan terpasang 3D19

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 850,6 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{850,6 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 53,37 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{kiri}}} &= A_{s_{\text{pasang}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 850,6 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(340,5 - \frac{53,37}{2}\right) \\
 &= 106770665,1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Tulangan terpasang 2D19

$$A_{s'_{\text{pasang}}} = 567,1 \text{ mm}^2$$

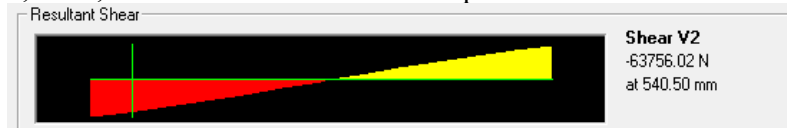
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{567,1 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 35,58 \text{ mm}$$

$$M_{n_{\text{kanan}}} = A_{s'_{\text{pasang}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(340,5 - \frac{35,58}{2}\right)$$

$$= 73198038,26 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D+1,0L dari analisa SAP 2000 didapatkan :



Gambar 4.6 22 Diagram geser pada tumpuan akibat 1,2D+1L

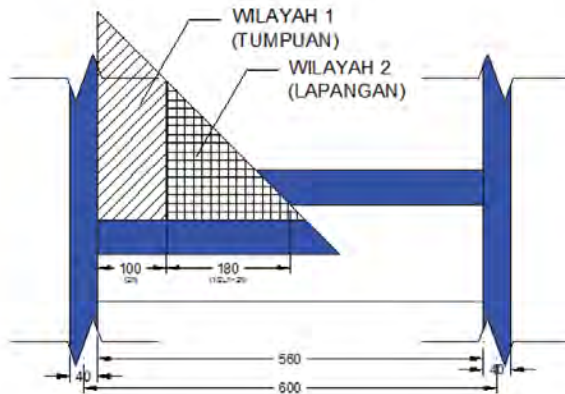
Gaya geser terfaktor $V_u = 63756,02 \text{ N}$

Dimana V_u diambil tepat pada as kolom

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkan) pada balok, wilayah balok dibagi 2 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 daerah tumpuan sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom kearah tengah bentang
(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.2)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari jarak wilayah 1 sampai $\frac{1}{2}$ bentang balok



Gambar 4.6 23 Pembagian wilayah geser pada balok

Syarat kuat tekan beton :

Nilai $\sqrt{f_c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $\frac{25}{3}$ Mpa

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.1.1(2))

$$\sqrt{f_c} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{25} \leq \frac{25}{3}$$

$$5 \leq 8,33 \quad (\text{memenuhi})$$

Kuat geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 340,5$$

$$V_c = 85125 \text{ N} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.3})$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 340,5$$

$$= 34050 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{3} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 340,5 \\
 &= 170250 \text{ N} \\
 2 \text{ V}_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{2}{3} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 340,5 \\
 &= 340500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Penulangan geser balok

Pada wilayah 1 (daerah tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2} \\
 &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 13.3)}
 \end{aligned}$$

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal actual balok daerah tumpuan kiri

M_{nr} = Momen nominal actual balok daerah tumpuan kanan

l_n = Panjang bersih balok

Maka V_{u1}

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{106770665,1 + 73198038,26}{5600} + 63756,02 \\
 &= 93750,803 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser :

1. Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \quad \text{(Tidak perlu tulangan geser)}$$

$$93750,80 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 85125 \text{ N}$$

$$93750,80 \text{ N} \geq 31922 \text{ N} \quad \text{(Tidak Memenuhi)}$$

2. Kondisi 2

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$$

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 85125 \text{ N} \leq 93750,8 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 85125 \text{ N}$$

$$31921,87 \text{ N} \leq 93750,8 \text{ N} \leq 63844 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

3. Kondisi 3

$$\phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{s \min})$$

$$0,75 \cdot 85125 \text{ N} \leq 93750,8 \text{ N} \geq 0,75 \cdot (85125 \text{ N} + 34050)$$

$$63843,75 \text{ N} \leq 93750,8 \text{ N} \geq 89381,25 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

4. Kondisi 4

$$\phi \cdot (V_c + V_{s \min}) \leq V_u \leq \phi^* (V_c + V_{s \max})$$

$$0,75 \cdot (85125 \text{ N} + 34050 \text{ N}) \leq 93750,8 \text{ N} \leq$$

$$0,75 \cdot (85125 \text{ N} + 170250 \text{ N})$$

$$89381,25 \text{ N} \leq 93750,8 \text{ N} \leq 191531,25 \text{ N}$$

(memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan

Kondisi 4

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{93750,8 - 0,75 \cdot 85125 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = 39876,07 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki
 , maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \pi \cdot d^2 \cdot n_{\text{kaki}}$$

$$= 0,25 \pi \cdot 10^2 \cdot 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \cdot f_{yv} \cdot d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$= \frac{157,08 \cdot 240 \cdot 340,5}{39876,07}$$

$$= 321,91 \text{ mm}$$

Kontrol jarak spasi tulangan berdasarkan *Kondisi 4*

$$S_{\max} \leq \frac{d}{2}$$

$$321,91 \text{ mm} \leq \frac{340,5}{2}$$

$$321,91 \text{ mm} \leq 170,3$$

$$S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

(tidak memenuhi)

321,91 mm \leq 600mm (memenuhi)
 Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-80

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.104.2 pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50mm dari muka perletakan .

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $S = \frac{d}{4}$
- $S = 8 \cdot D_{tul.utama}$
- $S = 24 \cdot D_{tul.sengkang}$
- 300 mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.(2))

- | | | | |
|---|------------------|-----------------------------|------------|
| ❖ | $S_{pakai} \leq$ | Sperlu | |
| | 80 mm \leq | 321,91 | (memenuhi) |
| ➤ | $S_{pakai} \leq$ | $\frac{d}{4}$ | |
| | 80mm \leq | 85,12 mm | (memenuhi) |
| ➤ | $S_{pakai} \leq$ | $8 \cdot D_{tul.utama}$ | |
| | 80 mm \leq | 152mm | (memenuhi) |
| ➤ | $S_{pakai} \leq$ | $24 \cdot D_{tul.sengkang}$ | |
| | 80mm \leq | 240 mm | (memenuhi) |
| ➤ | $S_{pakai} \leq$ | 300 | |
| | 80mm \leq | 300 | (memenuhi) |

Jadi penulangan geser balok untuk balok BA (30/40) pada wilayah 1 (daerah tumpuan) dipasang D10-80mm dengan sengkang 2 kaki .

Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1. (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{93750,80. (\frac{1}{2} 6000 - 2.400)}{\frac{1}{2} 6000}$$

$$Vu2 = 68750,58 \text{ N}$$

Cek Kondisi Geser :

1. Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot Vc \quad (\text{Tidak perlu tulangan geser})$$

$$68750,58 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 85125 \text{ N}$$

$$68750,58 \text{ N} \geq 31922 \text{ N} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

2. Kondisi 2

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot Vc \leq Vu \leq \emptyset \cdot Vc$$

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 85125 \text{ N} \leq 68750,58 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 85125 \text{ N}$$

$$31921,875 \text{ N} \leq 68750,58 \text{ N} \leq 63844 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

3. Kondisi 3

$$\emptyset \cdot Vc \leq Vu \leq \emptyset \cdot (Vc + Vs \text{ min})$$

$$0,75 \cdot 85125 \text{ N} \leq 68750,58 \text{ N} \leq 0,75 \cdot (85125 \text{ N} + 34050)$$

$$63843,75 \text{ N} \leq 68750,58 \text{ N} \leq 89381,25 \text{ N}$$

(memenuhi)

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10mm dengan 2 kaki ,
maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \pi \cdot d^2 \cdot n_{kaki} \\ &= 0,25 \pi \cdot 10^2 \cdot 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v_{perlu}} &= A_v + \frac{At}{s} \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 + 0,004 \text{ mm}^2 \\ &= 157,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{A_v \cdot f_{yv} \cdot 3}{\frac{bw}{300}} \\ &= \frac{157,1 \cdot 240 \cdot 3}{300} \\ &= 377,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-100

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.2 pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari 50mm dari muka perletakan .

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $S = \frac{d}{2}$ (lapangan)
- $S = 8 \cdot D_{tul.utama}$
- $S = 24 \cdot D_{tul.sengkang}$
- 300 mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.(2))

- ❖ $S_{pakai} \leq S_{perlu}$
- $100\text{mm} \leq 377,1$ **(memenuhi)**
- $S_{pakai} \leq \frac{d}{2}$
- $100\text{mm} \leq 170,3\text{mm}$ **(memenuhi)**

➤	$S_{pakai} \leq$	$8 \cdot D_{tul.utama}$	
	$100 \text{ mm} \leq$	152 mm	(memenuhi)
➤	$S_{pakai} \leq$	$24 \cdot D_{tul.senggang}$	
	$100 \text{ mm} \leq$	240 mm	(memenuhi)
➤	$S_{pakai} \leq$	300	
	$100 \text{ mm} \leq$	300	(memenuhi)

Jadi penulangan geser balok untuk balok BA (30/40) pada wilayah 2 (daerah lapangan dipasang D10-100mm dengan sengkang 2 kaki .

4.6.2.4 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap panampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 pasal 14.***

▪ Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 pasal 14.2***

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.2.1)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 tabel 11 pasal 14.2*** sebagai berikut

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut beton bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang ℓ_d tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f'_c}}$

Gambar 4.6 24 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

Dimana ;

- ℓ_d = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik
 d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai
 α = faktor lokasi penulangan
 β = faktor pelapis

Untuk α dan β menggunakan ketentuan pada **SNI 03-2847-2002 tabel 11 pasal 14.4** Gambar 4.6.14 dibawah ini :

α = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
β = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

Gambar 4.6 25 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

λ = faktor beton agregat ringan

λ = faktor beton agregat ringan	
Apabila digunakan beton agregat ringan	1,3
Walaupun demikian, apabila f_{ct} disyaratkan, maka λ boleh diambil sebesar $\sqrt{f_c} / (1,8f_{ct})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Apabila digunakan beton berat normal	1,0

Gambar 4.6 26 Faktor Agregat Ringan

SNI 03-2847-2002 tabel 11 pasal 14.4

$$\frac{ld}{db} = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \cdot \sqrt{f_c'}} \geq 300mm$$

$$ld = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda \cdot db}{25 \cdot \sqrt{f_c'}} \geq 300mm$$

$$ld = \frac{12 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,19}{25 \cdot \sqrt{25}} \geq 300mm$$

$$ld = 1094,4mm \geq 300mm$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{\text{spertu}}}{A_{\text{spasang}}} \cdot \lambda d \\ &= \frac{754,95}{850,6} \cdot 1094,4 \\ &= 971,3mm \approx 975 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 975 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI-03-2847-2002 pasal 14.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.5.1)

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.5.2 panjang penyaluran dasar untuk batang tulangan tarik pada penampang tepi atau yang berakhir dengan kaitan dengan f_y sama dengan 400 MPa adalah :

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot db}{\sqrt{f_c}} \geq 8 \cdot db$$

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot 19}{\sqrt{25}} \geq 8 \cdot 19$$

$$l_{hb} = 380 \text{ mm} \geq 152 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Reduksi Panjang Penyaluran (tulangan lebih)

$$\begin{aligned} l_{direduksi} &= \frac{A_{spertu}}{A_{spasang}} l_{hb} \\ &= \frac{754,95}{850,6} \cdot 380 \\ &= 337,2 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 350mm

■ Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.3

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.3.1)

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.3.2. panjang penyaluran diambil sebesar :

$$ldb = \frac{db \cdot f_y}{4\sqrt{f_c'}} \geq 0,04 \cdot db \cdot f_y$$

$$ldb = \frac{19 \cdot 400}{4\sqrt{25}} \geq 0,04 \cdot 19 \cdot 400$$

$$ldb = 380 \text{ mm} \geq 304 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$l_{direduksi} = \frac{A_{spertu}}{A_{spasang}} \cdot ldb$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1095,84}{1134} \cdot 380 \\
 &= 367,21 \text{ mm} \approx 370 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.6.2.5 Kontrol Retak

Bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 30Mpa, maka penampang dengan momen positif dan negative maksimum harus direncanakan sedemikian hingga nilai :

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} < 30 \text{ Mpa}$$

(untuk penampang di dalam ruangan) dan

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} < 25 \text{ Mpa}$$

(untuk penampang yang dipengaruhi oleh cuaca luar)

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.6.4)

$$\begin{aligned}
 d_c &= \text{decking} + (0,5 D_{\text{lentur}}) \\
 &= 40 \text{ mm} + (0,5 \cdot 19 \text{ mm}) \\
 &= 49,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{2 \cdot dc \cdot b}{n} \\
 &= \frac{2 \cdot 49,5 \cdot 300}{4} \\
 &= 7425 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

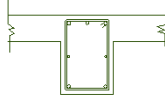
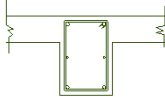
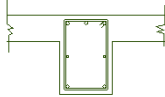
$$\begin{aligned}
 Z &= f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} \\
 &= 0,6 \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} \\
 &= 0,6 \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{49,5 \cdot 7425} \\
 &= 17191,42 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$Z = 17,19142 \text{ KN/mm}^2 < 30 \text{ KN/mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sebagai alternative terhadap perhitungan nilai z , dapat dilakukan dengan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh :

$$\begin{aligned}
 \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_y \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} \\
 \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 400 \cdot \sqrt[3]{49,5 \cdot 7425} \\
 \omega &= 0,267 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai lebar retak yang diperolehkan tidak boleh melebihi 0,4mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana $\beta = 0,85$ untuk $f_c' \leq 30$ Mpa.

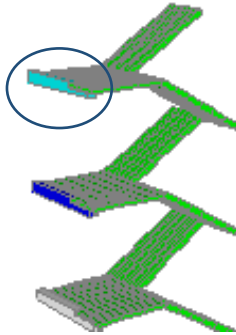
LANTAI 3			
as	C, 8-9		
Type	BA-1 MELINTANG		
Posisi	TUMPUAN KIRI	TUMPUAN LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
Dim	300x 400 mm		
			
Tul.Ats	3 D 19	2 D 19	3 D 19
Tul.Bwh	2 D 19	2 D 19	2 D 19
Torsi	2 D 10	2 D 10	2 D 10
Sengk	∅ 10 – 80 mm	∅ 10 – 100 mm	∅ 10 – 80 mm

Gambar 4.6 27 Pembagian Wilayah Geser pada Balok

4.6.3 Perhitungan Penulangan Balok Bordes

a. Data Perencanaan

Dalam perhitungan balok akan dibahas penulangan balok bordes 30/40 cm yang berada pada lantai 3 dengan elevasi $\pm 8,00$ m



Gambar 4.6 28 Lokasi Balok yang ditinjau

Adapun data balok adalah sebagai berikut :

Bentang balok = 4000 mm

Dimensi balok b = 300 mm

 h = 400 mm

Dimensi Kolom b = 400 mm

 h = 400 mm

Tinggi Kolom = 4000 mm

Diameter Tulangan lentur = 19 mm

Diameter Tulangan geser = 10 mm

Diameter Tulangan torsi = 10 mm

Tebal selimut (t selimut) = 40 mm

[SNI 03-2847-2002 pasal

9.7.1.(c)]

Faktor β_1 = 0,85

*[SNI-03-2847-2002
pasal12.2.7.(3)]*

Faktor reduksi kekuatan lentur = 0,8

*[SNI-03-2847-2002
pasal11.3.2.(1)]*

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75

*[SNI-03-2847-2002
pasal11.3.2.(3)]*

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) = 0,75

*[SNI-03-2847-2002
pasal11.3.2.(3)]*

Mutu bahan

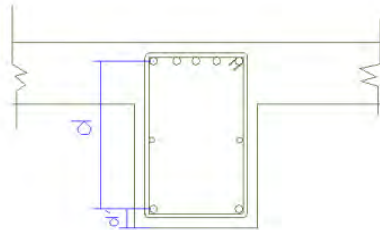
Kuat tekan beton (f_c') = 30 MPa

Kuat leleh tulanga lentur(f_{yl}) = 400 Mpa

Kuat leleh tulangan geser(f_{yv}) = 240 Mpa

Tinggi efektif balok

$$\begin{aligned} d &= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} D_{\text{tul lentur}} \\ &= 400\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} 19 \text{ mm} \\ &= 340,5 \text{ mm} \\ d' &= t_{\text{selimut}} + D_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} D_{\text{tul lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 10\text{mm} + \frac{1}{2} 19 \text{ mm} \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.6 29 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil Output dari Analisa SAP 2000

Dari analisa SAP 2000, didapatkan gaya dalam yang dapat digunakan perhitungan penulangan. Adapun dalam pengambilan hasil output dari analisa SAP 2000 adalah gaya

maksimum yang terjadi akibat beberapa macam kombinasi pembebanan, kombinasi pembebanan yang dipakai adalah kombinasi beban gravitasi dan beban gempa yang berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 11.2

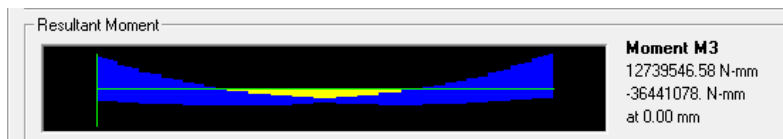
Kombinasi pembebanan non-gempa :

1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2D + 1,6 L$
3. $U = 1,2 D + 1 L$

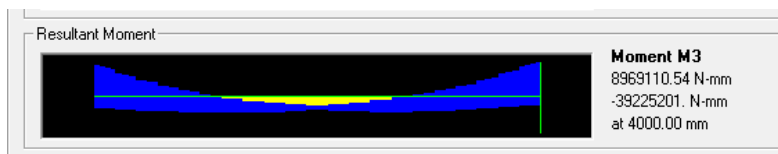
Kombinasi pembebanan gempa :

1. $U = 1,2D + 1L + 1Eq_x + 0,3Eq_y$
2. $U = 1,2D + 1L + 0,3Eq_x + 1Eq_y$
3. $U = 1D + 1L + 1 Eq_x + 0,3Eq_y$
4. $U = 1D + 1L + 0,3Eq_x + 1Eq_x$

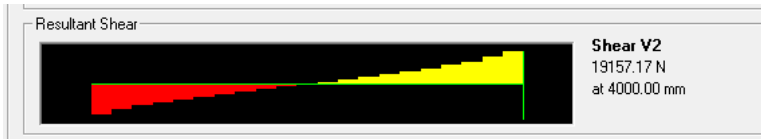
Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D+1,0L+1Eq_x+0,3Eq_y$ adalah kombinasi kritis dalam pemodelan.



Gambar 4.6.30 Diagram Momen tumpuan kiri akibat beban gravitasi dan gempa



Gambar 4.6 31 Diagram Momen tumpuan kanan akibat beban gravitasi dan gempa



Gambar 4.6 32 Diagram Gaya Geser

c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

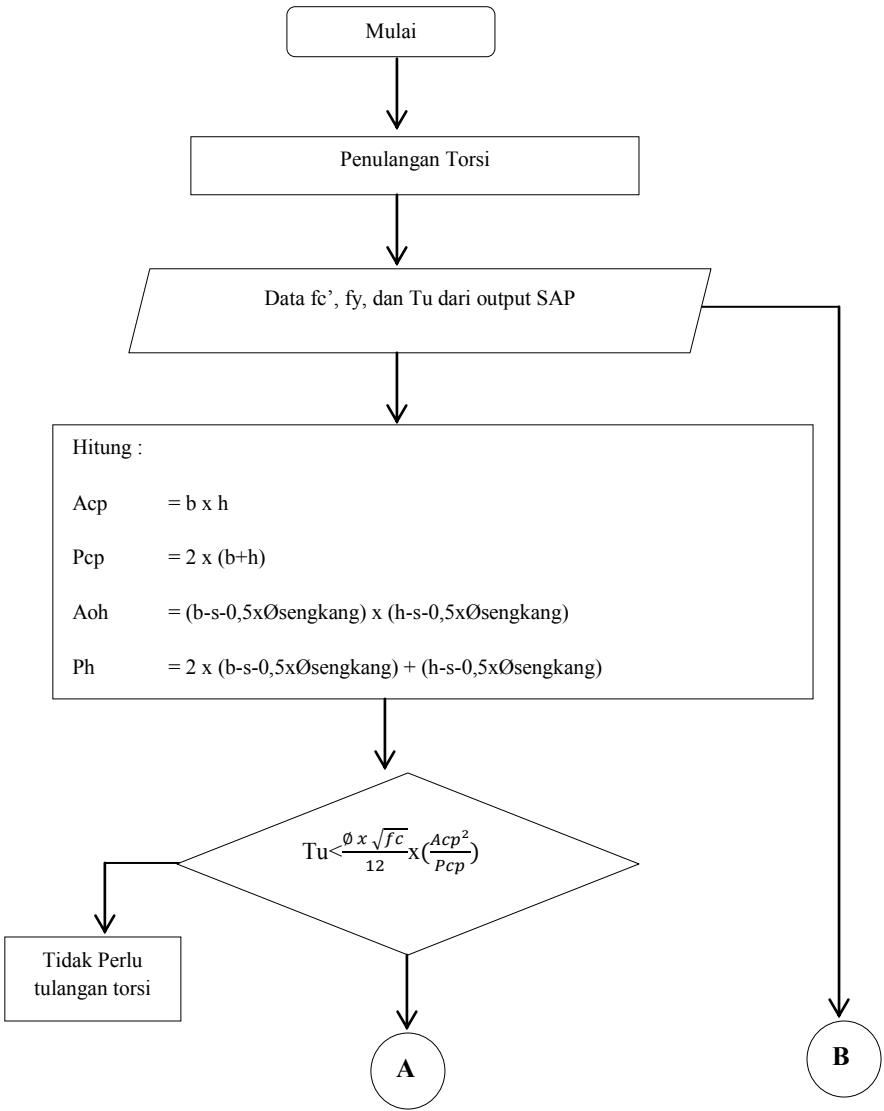
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur . Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI03-2847-2002 pasal 23.10.(4), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

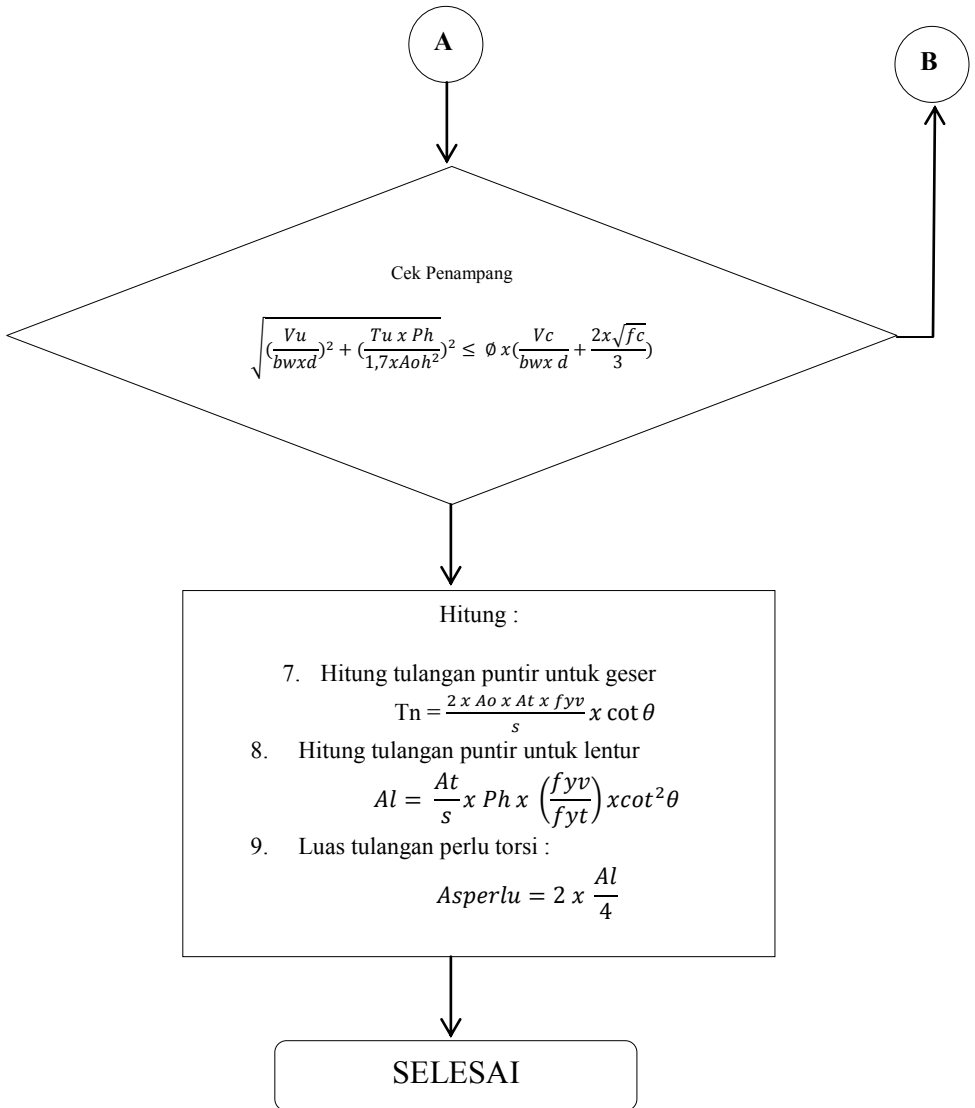
$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} = \frac{300 \times 400 \times 25 \text{ N/mm}^2}{10} = 300000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi gaya gempa dan gravitasi pada komponen struktur sebesar $4432.68 \text{ N} < 337500 \text{ N}$

4.6.3.1 Perhitungan Tulangan Torsi

Berikut ini diagram alur perhitungan tulangan torsi balok :





- Momen Puntir Ultimate

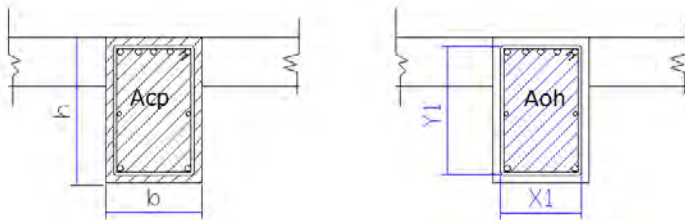
$$T_u = 14439983,13 \quad \text{Nmm (Output SAP)}$$

- Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{14439983,13}{0,75} = 19253310,84 \text{ Nmm}$$

- Cek, apakah diperlukan tulangan torsi

Luas yang dicakup oleh keliling luar, lihat **Gambar 4.6.31**



Gambar 4.6 33 Luasan Acp dan Aoh

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan

$$A_{cp} = b \cdot h = 300 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm} = 120000 \text{ mm}^2$$

- Parameter luas irisan penampang beton Acp

$$P_{cp} = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) = 1400 \text{ mm}^2$$

- Cek pengaruh momen torsi

$$\phi \cdot T_n = \phi \cdot \frac{\sqrt{f'c'} \cdot A_{cp}^2}{12 \cdot P_{cp}}$$

$$\phi \cdot T_n = 0,75 \times \frac{\sqrt{25 \text{ N/mm}^2}}{12} \cdot \frac{(120000 \text{ mm}^2)^2}{1400 \text{ mm}^2}$$

$$\phi \cdot T_n = 3214285,71 \text{ Nmm} < T_u = 14439983,13 \text{ Nmm}$$

(Memerlukan tulangan torsi)

➤ **Menghitung penampang**

$$\begin{aligned}
 X_1 &= b - 2 \cdot (t_{\text{selimut}} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ sengkang}) \\
 &= 300\text{mm} - 2 \cdot (40\text{mm} + \frac{1}{2} \cdot 10\text{mm}) \\
 &= 210 \text{ mm} \\
 Y_1 &= h - 2 \cdot (t_{\text{selimut}} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ sengkang}) \\
 &= 400\text{mm} - 2 \cdot (40\text{mm} + \frac{1}{2} \cdot 10\text{mm}) \\
 &= 310 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

➤ Luasan yang dicakup oleh garis tengah sengkang, lihat **Gambar 4.6.7**

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= X_1 \cdot Y_1 = 210 \text{ mm} \cdot 310\text{mm} = 65100 \text{ mm}^2 \\
 A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} = 0,85 \cdot 65100\text{mm}^2 = 55335 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ Tinggi efektif balok

$$\begin{aligned}
 d_{\text{aktual}} &= h - t_{\text{selimut}} - \emptyset_{\text{tul.sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul.lentur}} \\
 &= 400\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} \cdot 19\text{mm} \\
 &= 340,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

➤ Keliling dari garis tengah tulangan torsi tertutup bagian luar

$$Ph = 2 \cdot (X_1 + Y_1) = 2 \cdot (210\text{mm} + 310\text{mm}) = 1.040 \text{ mm}$$

➤ Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur non-prategang berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 13.3.1 adalah :

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w \cdot d$$

$$V_c = \frac{\sqrt{25\text{N/mm}^2}}{6} 300\text{mm} \cdot 340,5\text{mm}$$

$$V_c = 85125 \text{ N}$$

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.3.1 (a) dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

Gaya geser terfaktor (V_u) = 19965,7 N (OUTPUT SAP)

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bw \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7 Aoh}\right)^2} \leq \phi \left[\frac{Vc}{bw \cdot d} + \frac{2 \cdot \sqrt{fc'}}{3} \right]$$

$$\sqrt{\left(\frac{19965,7}{300 \cdot 340,5}\right)^2 + \left(\frac{14439983,13 \cdot 1.140}{1,7 \cdot 65100}\right)^2}$$

$$\leq 0,75 \left[\frac{85125}{300 \cdot 340,5} + \frac{2 \cdot \sqrt{25}}{3} \right]$$

$$1,476 \leq 3,125 \quad (\text{Penampang cukup besar})$$

- Menentukan tulangan torsi transversal yang diperlukan

$$T_n = \frac{Tu}{\phi} = \frac{14439983,13}{0,75} = 19253310,84 \text{ Nmm}$$

Untuk beton non-prategang

$$\theta = 45^\circ \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.3.6})$$

$$\frac{At}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{19253310,84}{2 \cdot 55335 \cdot 240 \cdot \cot 45}$$

$$\frac{At}{s} = 0,724 \text{ mm}^2$$

Menurut tulangan torsi longitudinal yang diperlukan sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.3.7 tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan torsi tidak boleh kurang daripada :

$$A_l = \frac{At}{s} \cdot Ph \cdot \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cdot \cot^2 \alpha$$

$$A_l = 0,724 \cdot 1140 \cdot \left(\frac{240}{400} \right) \cdot \cot^2 45$$

$$A_l = 317,49 \text{ mm}^2$$

- Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$A_{lmin} = \frac{5 \cdot \sqrt{fc} \cdot Acp}{12 \cdot f_{yl}} - \left(\frac{At}{s} \right) \cdot Ph \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}}$$

$$A_{lmin} = \frac{5 \cdot \sqrt{25} \cdot 120000}{12 \cdot 400} - (0,724) \cdot 1140 \cdot \frac{240}{400}$$

$$A_{lmin} = 307,50 \text{ mm}^2$$

$$A_l = 317,496 \text{ mm}^2 < A_{lmin} = 307,5 \text{ mm}^2 (\text{gunakan } A_{lperlu})$$

Luasan tulangan torsi untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{317,496}{4} = 79,37 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Pada sisi kanan kiri diperlukan luasan tulangan sebesar

$$2 \cdot \frac{A_l}{4} = 2 \cdot 79,37 \text{ mm}^2 = 158,75 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang torsi longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{A_{sperlu}}{\text{Luasan } D_{torsi}}$$

$$n = \frac{158,75 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 10^2} = 2,02 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan torsi 4 D 10

Luasan tulangan torsi longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang torsi} &= n_{\text{pasang}} \cdot \text{luasan } D_{\text{torsi}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi \times 10^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

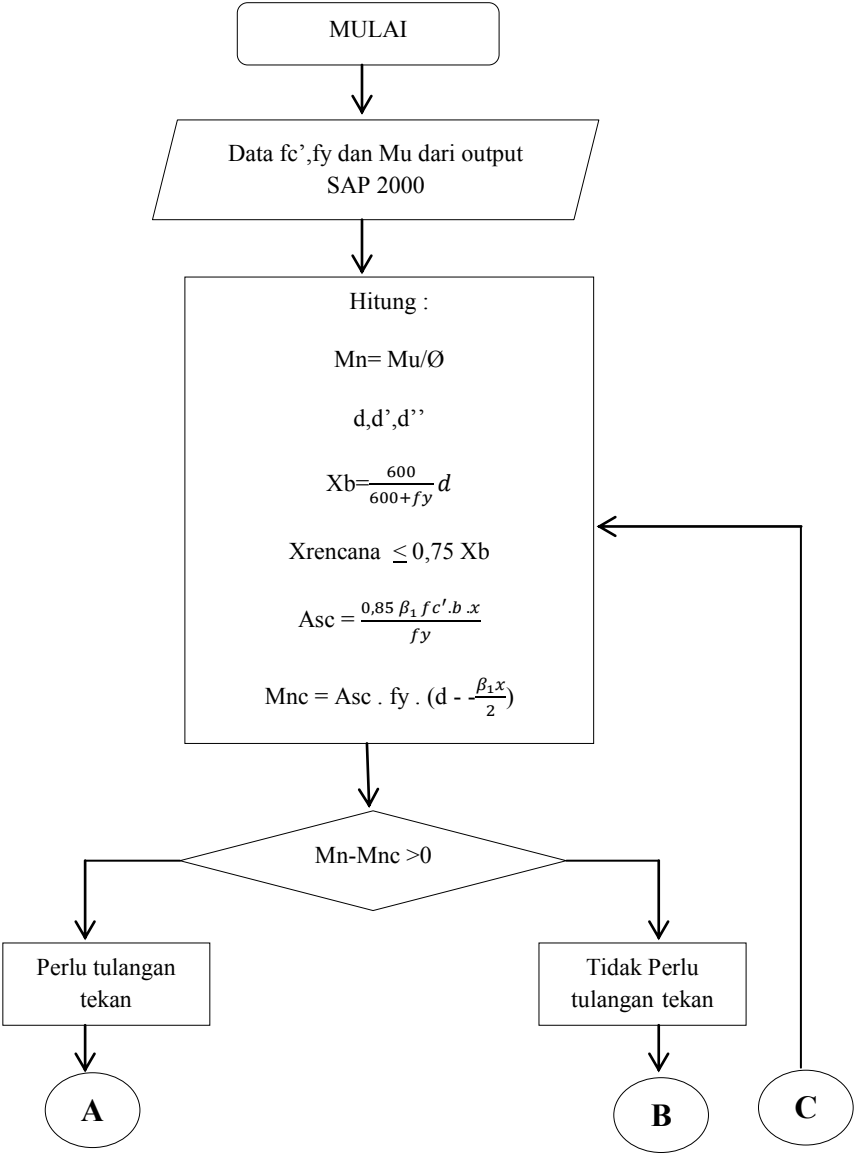
As pasang \geq As perlu

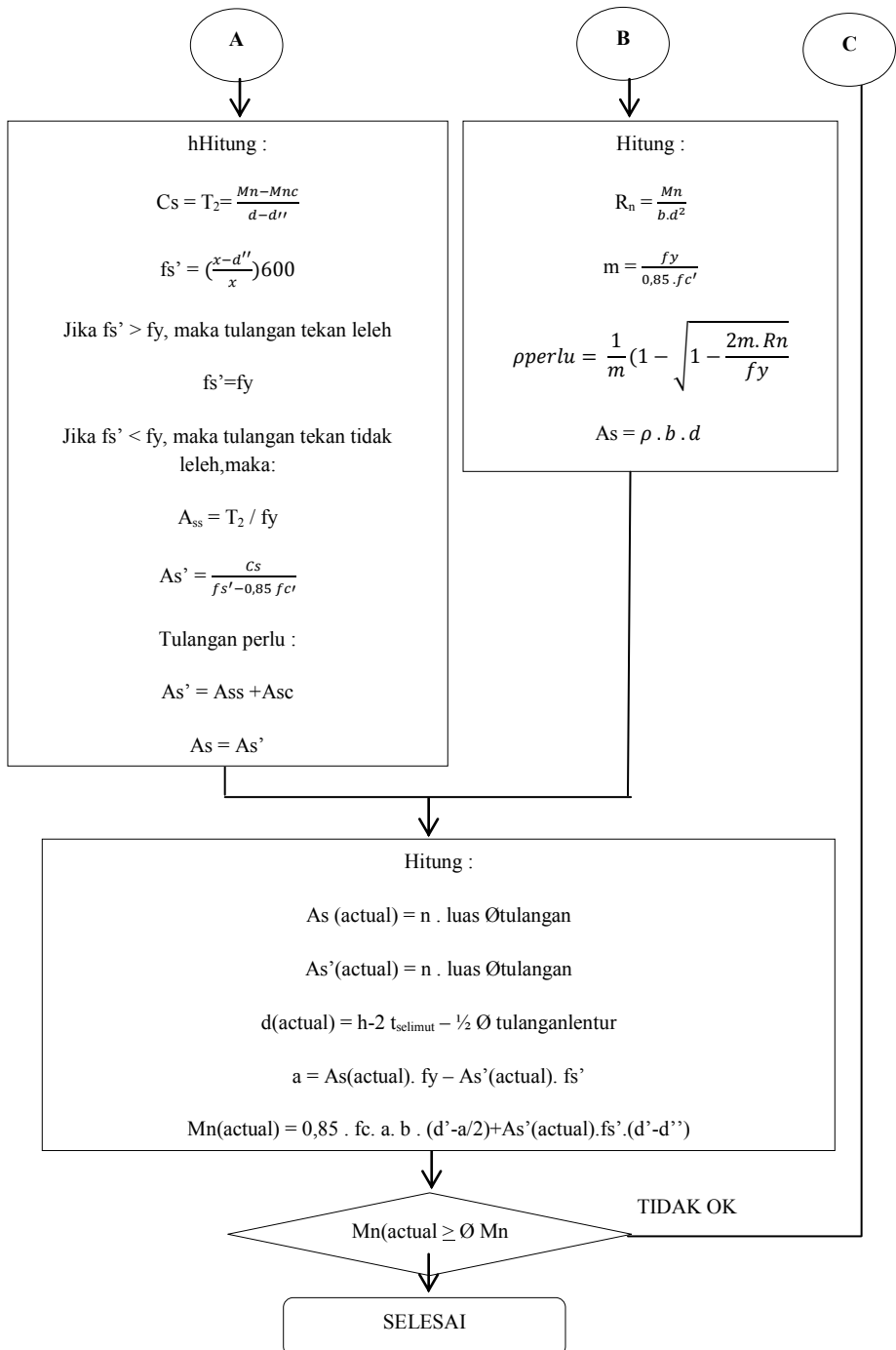
$$314,159 \text{ mm}^2 \geq 158,75 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipasang tulangan torsi ditumpuan kiri , lapangan, dan tumpuan kanan 4D10

4.6.3.2 Perhitungan Tulangan Lentur

Berikut ini diagram alur perhitungan tulangan lentur balok :





- Garis netral kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \cdot 340,5 \\ &= 204,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral maximum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \cdot X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \cdot 204,3 \text{ mm} \\ &= 175,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 541875 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas tulangan lntur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ A_{sc} &= \frac{0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100}{400} \\ &= 1354,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ M_{nc} &= 1354,69 \cdot 400 \cdot \left(340,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2} \right) \\ M_{nc} &= 161478750 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

❖ DAERAH TUMPUAN KIRI

Diambil momen terbesar , akibat dari kombinasi 1,2D+1,6L

- Mu tumpuan = 13921300,6 Nmm
- Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{Mu_{tumpuan}}{\phi} = 17401625,75 \text{ Nmm}$$

- Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$$M_{ns} > 0$$

$$M_{ns} \leq 0$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

maka perlu tulangan lentur tekan

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$= 17401625,75 \text{ Nmm} - 161478750 \text{ Nmm}$$

$$= -144077124,3 \text{ Nmm}$$

Maka , $M_{ns} = -144077124,3 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

- Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} \bullet \quad R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{77098967,5 \text{ Nmm}}{300 \cdot 340,5^2} \\ &= 2,22 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\ &= 18,82 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

- $\rho_{\text{balance}} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{25}{400}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400}\right)$$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,027$$

- $\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}}$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot 0,027$$

$$\rho_{\max} = 0,020$$

- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}}\right)$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{18,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,2 \cdot 0,50}{400}}\right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,001$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,001 < 0,020 \quad \text{(tidak memenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,001 = 0,0013$$

- Luas tulangan tarik pakai

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0013 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 340,5 \text{ mm}$$

$$= 168,1 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan perlu lentur ditambah luasan tambah torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 168,1 \text{ mm}^2 + 79,37 \text{ mm}^2$$

$$= 247,47 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{247,47 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 0,873 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

- Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \cdot \text{Luasan Dlentur} \\ &= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{rcl}\text{As pasang} & \geq & \text{As perlu} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 247,5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)}\end{array}$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan tekan

$$\text{As}' = 0$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}\text{As}'_{\text{perlu}} &= \text{As} + \frac{A_t}{4} \\ &= 0 + 79,37 \\ &= 79,37 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{79,37 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 0,28 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

- Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \cdot \text{Luasan Dlentur} \\ &= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{lcl} \text{As pasang} & \geq & \text{As perlu} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 79,37 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai
Syarat :
 $S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow$ susun 1 lapis
 $S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 2 D 19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D 19

Kontrol Tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (\text{jmlh tul } D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ S_{\max} &= \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 162 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lcl} S_{\max} & \geq & S_{\text{sejajar}} \\ 162 \text{ mm} & \geq & 25 \text{ mm (memenuhi)} \end{array}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes lantai 3 (30/40) untuk daerah tumpuan kiri :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19

➤ **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2002, pasal 23.10.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

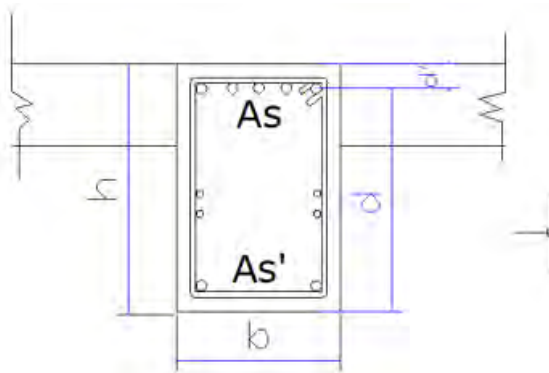
$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 2 \text{ D } 19 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 2 \text{ D } 19 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M lentur tumpuan (+)} &\geq \frac{1}{3} \cdot \text{M lentur tumpuan (-)} \\ 567,1 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \cdot 567,1 \text{ mm}^2 \\ 567,1 \text{ mm}^2 &\geq 189 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri , dipasang tulangan :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis = 2 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D 19



Gambar 4.6 34 Tinggi efektif balok

➤ Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned} d_{\text{actual}} &= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{tulangan sengkang}} - D_{\text{tul.lentur}} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 400\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - 19\text{mm} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 321 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 \\
 &= \left(1 - \frac{59,5}{100}\right) \cdot 600 \\
 &= 243 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{(567,1 \cdot 400 - 567,1 \cdot 243)}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 13,97 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\
 &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 13,97 \text{ mm} \\
 &= 89028,02 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' \cdot f_s' \\
 &= 567,1 \cdot 243 \\
 &= 137805,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{pasang}}} &= C_c' \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot x_{\text{renc}}}{2}\right) + C_s' \cdot (d - d') \\
 &= 89028,02 \left(340,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2}\right) + 137805,3 \cdot (340,5 - 59,5) \\
 &= 3454654415089 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka ,

$$\phi \cdot M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 3454654415089 > 13921300,6$$

$$27637235321 > 13921300,6 \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi penulangan Bordes (30/40) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19

❖ DAERAH LAPANGAN

Diambil momen terbesar , akibat dari kombinasi 1,2D+1,6L

- Mu lapangan = 14785003,57 Nmm
- Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{Mu_{tumpuan}}{\phi} = 18481254,46 \text{ Nmm}$$

- Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$$M_{ns} > 0$$

maka perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} \leq 0$$

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 14785003,57 \text{ Nmm} - 188572500 \text{ Nmm}$$

$$= -142997495,5 \text{ Nmm}$$

Maka , $M_{ns} = -142997495,5 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

- Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} \bullet \quad R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{18481254,46 \text{ Nmm}}{300 \cdot 340,5^2} \\ &= 0,53 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\ &= 18,82 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

- $\rho_{\text{balance}} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{25}{400}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400}\right)$$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,027$$

- $\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}}$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot 0,027$$

$$\rho_{\max} = 0,020$$

- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}}\right)$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{18,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,53}{400}}\right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,001$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,001 < 0,020 \quad \text{(tidak memenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} \text{ dinaikan } 30 \% = \rho_{\text{perlu}} \times 1,3$$

$$= 0,001 \times 1,3 = 0,0013$$

- Luas tulangan tarik pakai

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0013 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 340,5 \text{ mm}$$

$$= 135,7 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan perlu lentur ditambah luasan tambah torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 135,7 \text{ mm}^2 + 79,37 \text{ mm}^2$$

$$= 215,07 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{258,04 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 0,91 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

- Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \cdot \text{Luasan Dlentur} \\ &= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{rcl}\text{As pasang} & \geq & \text{As perlu} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 258,04 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)}\end{array}$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan tekan

$$\text{As}' = 0$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}\text{As}'_{\text{perlu}} &= \text{As} + \frac{A_t}{4} \\ &= 0 + 79,37 \\ &= 79,37 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{79,37 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 0,28 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

- Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \cdot \text{Luasan Dlentur} \\ &= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{lcl} \text{As pasang} & \geq & \text{As perlu} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 155,81 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{array}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai
Syarat :
 $S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow$ susun 1 lapis
 $S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 2 D 19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

Kontrol Tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (\text{jmlh tul } D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ S_{\max} &= \frac{300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 162 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lcl} S_{\max} & \geq & S_{\text{sejajar}} \\ 162 \text{ mm} & \geq & 25 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)} \end{array}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes lantai 3 (30/40) untuk daerah lapangan :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19

➤ Kontrol kemampuan penampang (*lihat gambar 4.6.8*)

$$\begin{aligned} d_{\text{actual}} &= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{tulangan sengkang}} - D_{\text{tul.lentur}} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 321 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 \\ &= \left(1 - \frac{59,5}{100}\right) \cdot 600 \\ &= 243 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{(567,1 \cdot 400 - 567,1 \cdot 243)}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 31,76 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 49,5 \\ &= 202439,51 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot \text{pasang} \cdot f_s \\ &= 567,1 \cdot 243 \\ &= 137794,96 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{\text{pasang}}} &= C_c' \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{renc}}{2} \right) + C_s' \cdot (d - d') \\ &= 202439,51 \left(340,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2} \right) + 137794,96 \cdot (340,5 - 59,5) \\ &= 1041291096804 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka ,

$$\phi \cdot M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$0,8 \cdot 1041291096804 > 14785003,57$$

$$8330328774 > 14785003,57 \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi penulangan balok bordes lantai 3 (30/40) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19

❖ DAERAH TUMPUAN KANAN

Diambil momen terbesar , akibat dari kombinasi 1,2D+1,6 L

➤ $M_u \text{ tumpuan} = 17871644,6 \text{ Nmm}$

➤ Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_{u_{\text{tumpuan}}}}{\phi} = 22339555,75 \text{ Nmm}$$

➤ Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \quad \longrightarrow \quad \text{maka perlu tulangan lentur tekan}$

$M_{ns} \leq 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - \overrightarrow{M_{nc}} \\ &= 22339555,75 \text{ Nmm} - 188572500 \text{ Nmm} \\ &= -139139194,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} = -139139194,3 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

➤ Perencanaan Tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} \bullet \quad R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{22339555,75 \text{ Nmm}}{300 \cdot 340,5^2} \\ &= 0,64 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{400}{0,85 \cdot 25} \\ &= 18,82 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\bullet \quad \rho_{\text{balance}} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= 0,85 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{25}{400} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ \rho_{\text{balance}} &= 0,027 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad \rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot 0,027$$

$$\rho_{\max} = 0,020$$

- $$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}}\right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{18,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,2 \cdot 0,64}{400}}\right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,001$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,001 < 0,020 \quad \textbf{(memenuhi)}$$

$$\rho_{perlu} \text{ akan dinaikan } 30 \% = \rho_{perlu} \times 1,3$$

$$= 0,001 \times 1,3$$

$$= 0,002$$

- Luas tulangan tarik pakai

$$As = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,002 \cdot 300\text{mm} \cdot 340,5\text{ mm}$$

$$= 216,5 \text{ mm}^2$$
- Luas tulangan perlu lentur ditambah luasan tambah torsi longitudinal untuk lentur :

$$As_{perlu} = As + \frac{A_t}{4}$$

$$= 216,5 \text{ mm}^2 + 79,37 \text{ mm}^2$$

$$= 295,92 \text{ mm}^2$$
- Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = \frac{As_{perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{295,92 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 1,044 \approx 2 \text{ buah}$$
 Dipasang tulangan lentur 2 D19
- Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$As_{pasang} = n \cdot \text{Luasan Dlentur}$$

$$= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$
- Kontrol :

$$As_{pasang} \geq As_{perlu}$$

- $567,1 \text{ mm}^2 \geq 295,92 \text{ mm}^2$ **(memenuhi)**
- Luasan perlu (A_s perlu) tulangan tekan
 $A_s' = 0$
 Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_s'_{\text{perlu}} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 0 + 79,37$$

$$= 79,37 \text{ mm}^2$$
- Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{79,37 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$n = 0,28 \approx 2 \text{ buah}$$
 Dipasang tulangan lentur 2D19
- Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)
 $A_s \text{ pasang} = n \cdot \text{Luasan Dlentur}$

$$= 2 \cdot 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$
- Kontrol :

$$\begin{array}{ccc} A_s \text{ pasang} & \geq & A_s \text{ perlu} \\ 567,1 \text{ mm}^2 & \geq & 79,37 \text{ mm}^2 \end{array}$$
 (memenuhi)
- Kontrol jarak spasi tulangan pakai
 Syarat :
 $S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow$ susun 1 lapis
 $S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \longrightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

 Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 3 D 19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

Kontrol Tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (\text{jmlh tul } D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - (2 \cdot 10\text{mm}) - (2 \cdot 19\text{mm})}{2 - 1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$162 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes (30/45) untuk daerah tumpuan kanan :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis
Lapis 1 = 2 D 19

➤ **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

(SNI 03-2847-2002, pasal 23.10.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 3 \text{ D } 19 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 2 \text{ D } 19 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq 1/3 \cdot M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 567,1 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \cdot 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 189 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri , dipasang tulangan :

- ✓ Tulangan lentur tarik 1 lapis = 2 D 19
- ✓ Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D 19

➤ Kontrol kemampuan penampang (*lihat gambar 4.6.8*)

$$\begin{aligned} d_{\text{actual}} &= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{tulangan sengkang}} - D_{\text{tul.lentur}} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - \frac{2}{5} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 321 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 \\ &= \left(1 - \frac{59,5}{100}\right) \cdot 600 \\ &= 243 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{(567,1 \cdot 400 - 567,1 \cdot 243)}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 13,97 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 13,97 \\ &= 89028,02341 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot f_s' \\ &= 567,1 \cdot 243 \\ &= 137805,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{\text{pasang}}} &= C_c' \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot x_{\text{renc}}}{2}\right) + C_s' \cdot (d - d') \\ &= 89028,02341 \left(340,5 - \frac{0,85 \cdot 100}{2}\right) + 137805,3 \cdot (340,5 - 59,5) \\ &= 2055651538179 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka ,

$$\phi \cdot M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

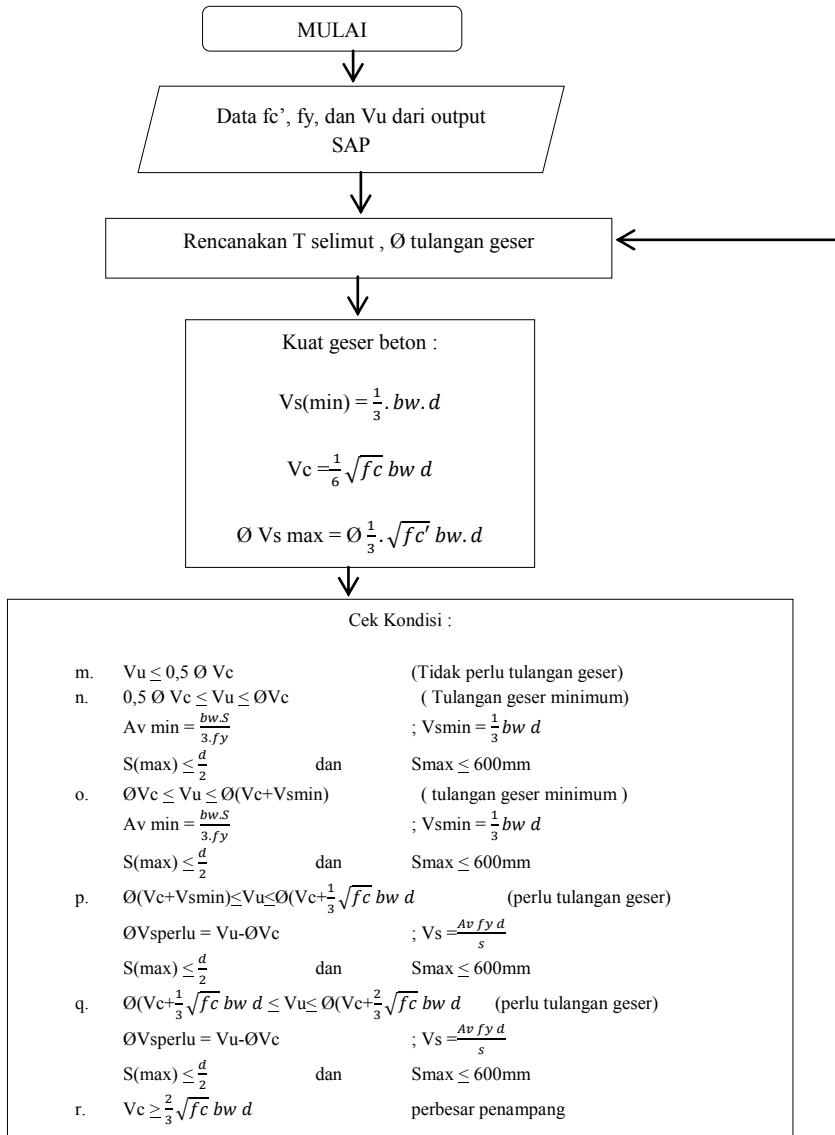
$$0,8 \cdot 2055651538179 > 17871644,6$$

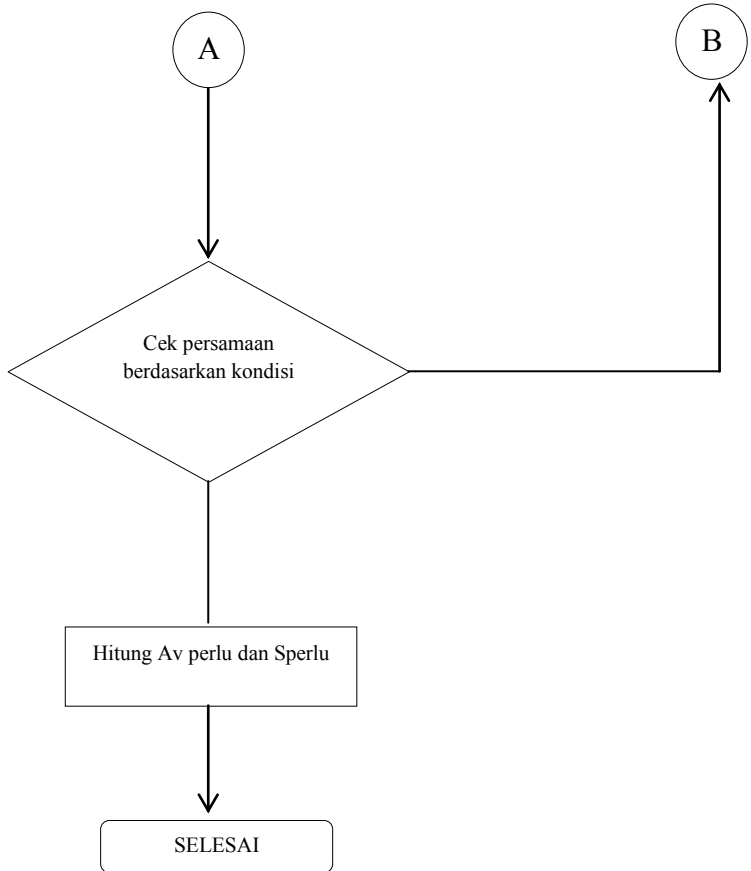
16445212305433 Nmm > 17871644,6 Nmm (**memenuhi**)

Jadi penulangan balok bordes (30/40) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D19

4.6.3.2 Perhitungan Tulangan Geser

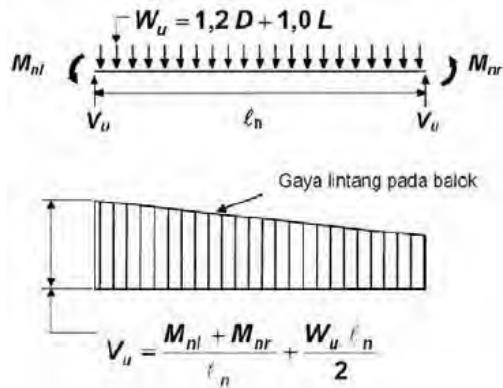
Berikut ini diagram alur perhitungan tulangan geser balok :





Dengan data balok sebagai berikut :

$f_c' = 30 \text{ Mpa}$
 $f_y = 240 \text{ Mpa}$
 $\beta_1 = 0,85$
 $\phi \text{ reduksi geser} = 0,75$
 Lebar (b) = 300 mm
 Tinggi (h) = 400 mm
 Dtul.sengkan = 10 mm
 Momen tulangan terpasang



Gambar 4.6 35 Persamaan geser untuk balok SRPMM

Tulangan terpasang 2 D19

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 567,1 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{567,1 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 35,58 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{kiri}}} &= A_{s_{\text{pasang}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 567,1 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(340,5 - \frac{35,58}{2}\right) \\
 &= 73198038,26 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Tulangan terpasang 2D19

$$A_{s'_{\text{pasang}}} = 567,1 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{567,1 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 35,58 \text{ mm}$$

$$M_{n_{\text{kanan}}} = A_{s'_{\text{pasang}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot (340,5 - \frac{35,58}{2})$$

$$= 73198038,26 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D+1,0L dari analisa SAP 2000 didapatkan :

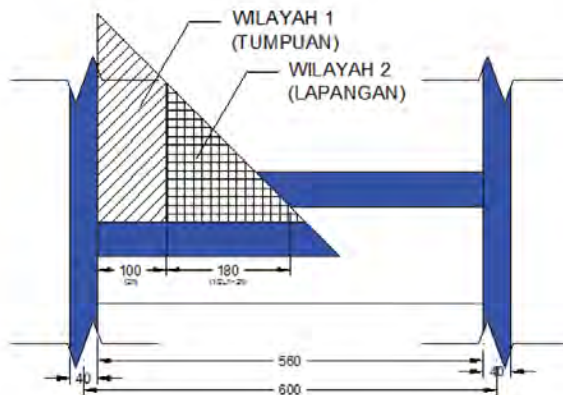
Gaya geser terfaktor $V_u = 10116,15 \text{ N}$

Dimana V_u diambil tepat pada as kolom

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi 2 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 daerah tumpuan sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom kearah tengah bentang
(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.2)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari jarak wilayah 1 sampai $\frac{1}{2}$ bentang balok



Gambar 4.6 36 Pembagian wilayah geser pada balok

Syarat kuat tekan beton :

Nilai $\sqrt{f_c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $\frac{25}{3} \text{ Mpa}$

(SNI 03-2847 -2002 pasal 13.1.1(2))

$$\sqrt{fc} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{25} \leq \frac{25}{3}$$

$$5 \leq 8,33 \quad (\text{memenuhi})$$

Kuat geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{fc} b d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 340,5$$

$$V_c = 85125 \text{ N} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.3})$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 340,5$$

$$= 34050 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \sqrt{fc} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1}{3} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 340,5$$

$$= 170250 \text{ N}$$

$$2 V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \sqrt{fc} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{2}{3} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 340,5$$

$$= 340500 \text{ N}$$

Penulangan geser balok

Pada wilayah 1 (daerah tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2}$$

$$= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.3})$$

Dimana :

 V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan M_{nl} = Momen nominal actual balok daerah tumpuan kiri

Mnr = Momen nominal actual balok daerah tumpuan kanan

ln = Panjang bersih balok

Maka Vu1

$$Vu1 = \frac{73198038,26 + 73198038,26}{5600} + 63756,02$$

$$= 46715,16 \text{ N}$$

Cek Kondisi Geser :

1. Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \cdot \phi \cdot Vc \quad (\text{Tidak perlu tulangan geser})$$

$$46715,16 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 85125 \text{ N}$$

$$46715,16 \text{ N} \geq 31922 \text{ N} \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

2. Kondisi 2

$$0,5 \cdot \phi \cdot Vc \leq Vu \leq \phi \cdot Vc$$

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 85125 \text{ N} \leq 46715,16 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 85125 \text{ N}$$

$$31921,87 \text{ N} \leq 46715,16 \text{ N} \leq 63844 \text{ N}$$

(memenuhi)

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki
, maka luasan tulangan geser :

$$Av = 0,25 \pi \cdot d^2 \cdot n_{kaki}$$

$$= 0,25 \pi \cdot 10^2 \cdot 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{perlu} = \frac{Av \cdot bw}{3fy}$$

$$= \frac{157,08 \cdot 300}{3 \cdot 240}$$

$$= 65,45 \text{ mm}$$

Kontrol jarak spasi tulangan berdasarkan Kondisi 4

$$S_{max} \leq \frac{d}{2}$$

$$60 \text{ mm} \leq \frac{340,5}{2}$$

$$60 \text{ mm} \leq 170,3 \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-50

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.104.2 pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50mm dari muka perletakan .

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

$$\begin{aligned} \text{➤ } S &= \frac{d}{4} \\ \text{➤ } S &= 8 \cdot D_{\text{tul.utama}} \\ \text{➤ } S &= 24 \cdot D_{\text{tul.sengkang}} \\ \text{➤ } 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.(2))

$$\begin{aligned} \text{➤ } S_{\text{pakai}} &\leq \frac{d}{4} && \text{(memenuhi)} \\ 50\text{mm} &\leq 85,12 \text{ mm} && \\ \text{➤ } S_{\text{pakai}} &\leq 8 \cdot D_{\text{tul.utama}} && \text{(memenuhi)} \\ 50 \text{ mm} &\leq 152\text{mm} && \\ \text{➤ } S_{\text{pakai}} &\leq 24 \cdot D_{\text{tul.sengkang}} && \text{(memenuhi)} \\ 50\text{mm} &\leq 240 \text{ mm} && \\ \text{➤ } S_{\text{pakai}} &\leq 300 && \text{(memenuhi)} \\ 50\text{mm} &\leq 300 && \end{aligned}$$

Jadi penulangan geser balok untuk balok bordes (30/40) pada wilayah 1 (daerah tumpuan) dipasang D10-50mm dengan sengkang 2 kaki .

Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan , dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1. (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{46715,16. (\frac{1}{2}6000 - 2.400)}{\frac{1}{2}6000}$$

$$Vu2 = 28029,101 \text{ N}$$

Cek Kondisi Geser :

1. Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \cdot \phi \cdot Vc \quad (\text{Tidak perlu tulangan geser})$$

$$28029,101 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 85125 \text{ N}$$

$$28029,101 \text{ N} \leq 31922 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10mm dengan 2 kaki ,
maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} Av &= 0,25 \pi \cdot d^2 \cdot n_{kaki} \\ &= 0,25 \pi \cdot 10^2 \cdot 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Av_{perlu} &= Av + \frac{At}{s} \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 + 0,004 \text{ mm}^2 \\ &= 157,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{bw \cdot Av}{3 \cdot fy} \\ &= \frac{300 \cdot 157,1}{3 \cdot 240} \\ &= 65,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan berdasarkan Kondisi 3

$$S_{max} \leq \frac{d}{2}$$

$$\begin{aligned}
 60 \text{ mm} &\leq \frac{340,5}{2} \\
 60 \text{ mm} &\leq 170,3 \quad \text{(memenuhi)} \\
 S_{\max} &\leq 600 \text{ mm} \\
 60 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-60

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.104.2 pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50mm dari muka perletakan .

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } S &= \frac{d}{4} \\
 \text{➤ } S &= 8 \cdot D_{\text{tul. utama}} \\
 \text{➤ } S &= 24 \cdot D_{\text{tul. sengkang}} \\
 \text{➤ } 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.(2))

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } S_{\text{pakai}} &\leq \frac{d}{2} \\
 60 \text{ mm} &\leq 170,3 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)} \\
 \text{➤ } S_{\text{pakai}} &\leq 8 \cdot D_{\text{tul. utama}} \\
 60 \text{ mm} &\leq 152 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)} \\
 \text{➤ } S_{\text{pakai}} &\leq 24 \cdot D_{\text{tul. sengkang}} \\
 60 \text{ mm} &\leq 240 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)} \\
 \text{➤ } S_{\text{pakai}} &\leq 300 \\
 60 \text{ mm} &\leq 300 \quad \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi penulangan geser balok untuk balok bordes (30/40) pada wilayah 2 (daerah lapangan dipasang D10-60mm dengan sengkang 2 kaki)

4.6.3.4 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap panampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 03-2847-2002 pasal 14*.

■ Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2002 pasal 14.2*

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300mm

(*SNI 03-2847-2002 pasal 14.2.1*)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2002 tabel 11 pasal 14.2* sebagai berikut

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut beton bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang ℓ_d tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f'_c}}$

Gambar 4.6 37 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

Dimana ;

ℓ_d = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai

α = faktor lokasi penulangan

β = faktor pelapis

Untuk α dan β menggunakan ketentuan pada **SNI 03-2847-2002**

tabel 11 pasal 14.4 Gambar 4.6.14 dibawah ini :

α = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
β = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

Gambar 4.6 38 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

λ = faktor beton agregat ringan

λ = faktor beton agregat ringan	
Apabila digunakan beton agregat ringan	1,3
Walaupun demikian, apabila f_{cr} disyaratkan, maka λ boleh diambil sebesar $\sqrt{f'_c} / (1,8f_{cr})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Apabila digunakan beton berat normal	1,0

Gambar 4.6 39 Faktor Agregat Ringan

SNI 03-2847-2002 tabel 11 pasal 14.4

$$\frac{ld}{db} = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \cdot \sqrt{f'_c}} \geq 300mm$$

$$ld = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda \cdot db}{25 \cdot \sqrt{f'_c}} \geq 300mm$$

$$ld = \frac{12 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,19}{25 \cdot \sqrt{25}} \geq 300mm$$

$$ld = 1094,4mm \geq 300mm$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{spertu}}{A_{spasang}} \cdot \lambda d \\ &= \frac{754,95}{850,6} \cdot 1094,4 \\ &= 971,3mm \approx 975 mm \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 975 mm

▪ Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI-03-2847-2002 pasal 14.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.5.1)

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.5.2 panjang penyaluran dasar untuk batang tulangan tarik pada penampang tepi atau yang berakhir dengan kaitan dengan f_y sama dengan 400 MPa adalah :

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot db}{\sqrt{f_c}} \geq 8 \cdot db$$

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot 19}{\sqrt{25}} \geq 8 \cdot 19$$

$$l_{hb} = 380 \text{ mm} \geq 152 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Reduksi Panjang Penyaluran (tulangan lebih)

$$\begin{aligned} l_{direduksi} &= \frac{A_{sperlu}}{A_{spasang}} l_{hb} \\ &= \frac{754,95}{850,6} \cdot 380 \\ &= 337,2 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 350mm

■ Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.3

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.3.1)

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.3.2. panjang penyaluran diambil sebesar :

$$ldb = \frac{db \cdot f_y}{4\sqrt{f_c'}} \geq 0,04 \cdot db \cdot f_y$$

$$ldb = \frac{19 \cdot 400}{4\sqrt{25}} \geq 0,04 \cdot 19 \cdot 400$$

$$ldb = 380 \text{ mm} \geq 304 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$l_{direduksi} = \frac{A_{sperlu}}{A_{spasang}} \cdot ldb$$

$$= \frac{1095,84}{1134} \cdot 380$$

$$= 367,21 \text{ mm} \approx 370 \text{ mm}$$

4.6.2.5 Kontrol Retak

Bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 30Mpa, maka penampang dengan momen positif dan negative maksimum harus direncanakan sedemikian hingga nilai :

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} < 30 \text{ Mpa}$$

(untuk penampang di dalam ruangan) dan

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} < 25 \text{ Mpa}$$

(untuk penampang yang dipengaruhi oleh cuaca luar)

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.6.4)

$$d_c = \text{decking} + (0,5 D_{\text{lentur}})$$

$$= 40 \text{ mm} + (0,5 \cdot 19\text{mm})$$

$$= 49,5 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2 \cdot dc \cdot b}{n}$$

$$= \frac{2 \cdot 49,5 \cdot 300}{4}$$

$$= 7425 \text{ mm}^2$$

$$Z = f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A}$$

$$= 0,6 \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A}$$

$$= 0,6 \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{49,5 \cdot 7425}$$

$$= 17191,42 \text{ N/mm}^2$$

$$Z = 17,19142 \text{ KN/mm}^2 < 30 \text{ KN/mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Sebagai alternative terhadap perhitungan nilai z , dapat dilakukan dengan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh :

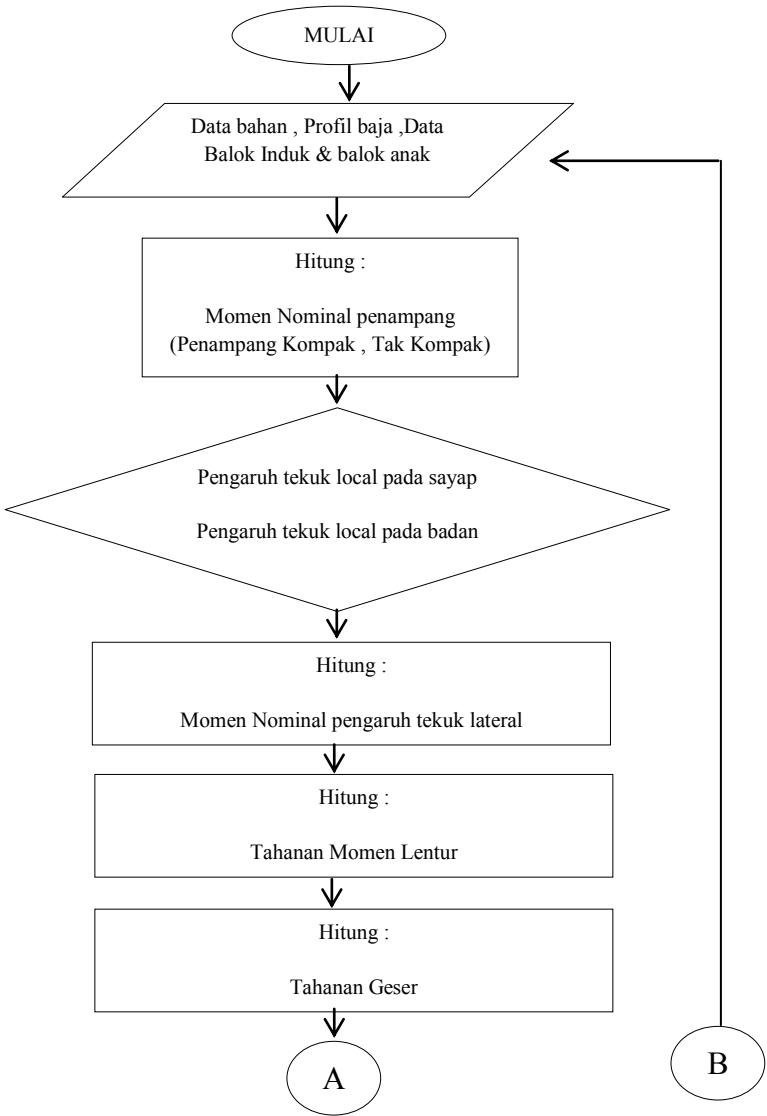
$$\omega = 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_y \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A}$$

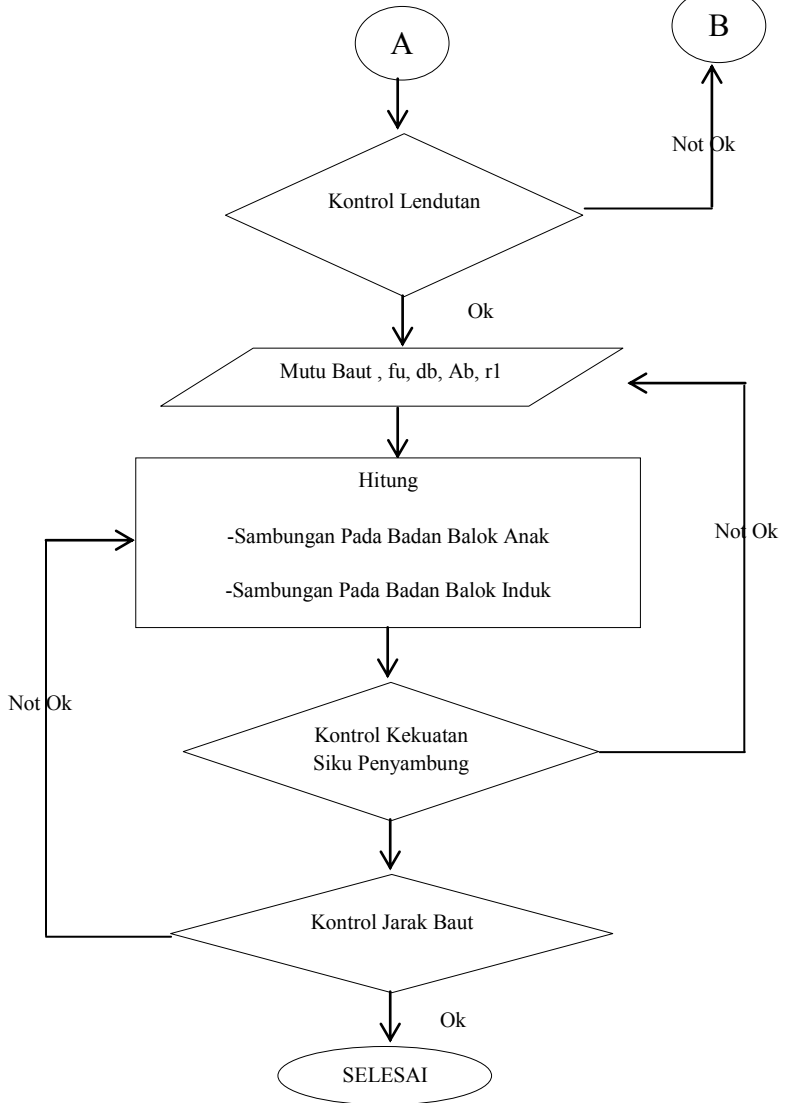
$$\omega = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 400 \cdot \sqrt[3]{49,5 \cdot 7425}$$

$$\omega = 0,267 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm}$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana $\beta = 0,85$ untuk $f_c' \leq 30 \text{ Mpa}$.

4.7 Perhitungan Balok Baja





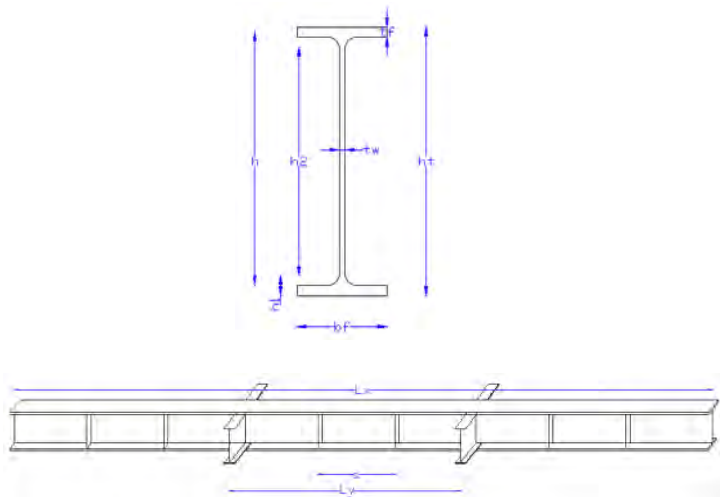
4.7.1 Kontrol Dimensi Balok Induk

Balok-balok direncanakan untuk menahan gaya-gaya momen dan geser. Pengelompokkan balok-balok didasarkan pada kebutuhan tahanan gaya momen dan geser maksimal hasil dari kombinasi beban dari output program SAP.

4.7.1.1 Perencanaan Balok Induk Memanjang

$L = 18000 \text{ mm}$

Profil WF 600.200.13.23



➤ Data Bahan

BJ = 37

Tegangan Leleh Baja

$f_y = 240 \text{ Mpa}$

Tegangan Sisa

$f_r = 70 \text{ Mpa}$

Modulus Elastisitas Baja

$E = 200.000 \text{ Mpa}$

➤ **Data Profil Baja:**

Profil = WF 600.200.13.23
 ht = 600 mm
 bf = 200 mm
 tw = 13 mm
 tf = 23 mm
 r = 22 mm
 A = 10770 mm²
 I_x = 1030000000 mm⁴
 I_y = 31800000 mm⁴
 r_x = 246 mm
 r_y = 43,1 mm
 Z_x = $b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + 1/4 \cdot t_w \cdot (d - 2 \cdot t_f)^2$
 = $200 \cdot 23 \cdot (600 - 23) + 1/4 \cdot 13 \cdot (600 - 2 \cdot 23)^2$
 = 2656000,5 mm³
 S_x = 3380000 mm³
 S_y = 314000 mm³
 w = 1314,0911 N/mm

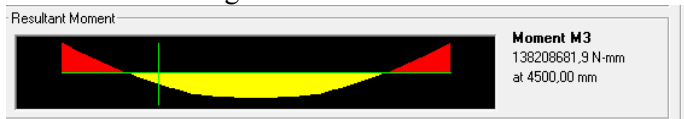
➤ **Data Balok**

- Panjang elemen terhadap sb. x L_x = 18000 mm
- Panjang elemen terhadap sb. y (jarak dukung lateral) L_y = 6000 mm
- Jarak antar pengaku vertikal badan a = 1000 mm
- Tebal plat pengaku vertikal pd. pelat badan t_s = 10 mm
- Momen Maksimum akibat beban terfaktor



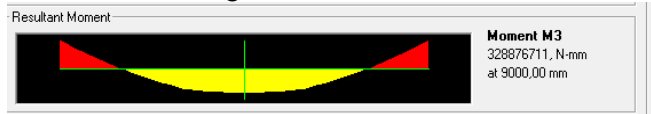
M_u = 409729836 Nmm

- Momen 1/4 bentang



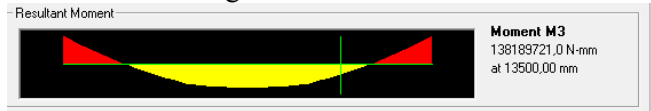
M_A = 138208681,9 Nmm

- Momen 1/2 bentang



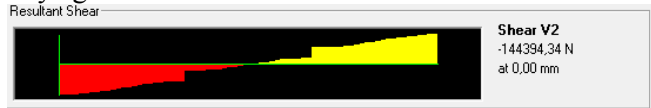
$$M_B = 328876711 \text{ Nmm}$$

- Momen 3/4 bentang



$$M_C = 138189721 \text{ Nmm}$$

- Gaya geser akibat beban terfaktor



$$V_u = 144394,34 \text{ N}$$

- Faktor reduksi kekuatan untuk lentur $\phi_b = 0,9$
- Faktor reduksi kekuatan untuk geser $\phi_f = 0,75$
(SNI 03-1729-2002 tabel 6.4-2)

➤ Section Properties

- $G = 80.000 \text{ Mpa}$ (SNI 03-1729-2002 Pasal 5.1.3)
- $h_1 = t_f + r = 23 + 22 = 45 \text{ mm}$
- $h_2 = h_t - (2 \cdot h_1) = 600 - (2 \cdot 45) = 510 \text{ mm}$
- $h = h_t - t_f = 600 - 23 = 577 \text{ mm}$
- $J = \frac{1}{3} \times (2 \times b \times t_f^3 + d \times t_w^3) = 2061667 \text{ mm}^4$
- $I_w = \frac{1}{12} \times t_f \times b f^3 \times \frac{(\sqrt{h_t + t_f})^2}{2} = 2,97 \times 10^{12} \text{ mm}^6$

$$\begin{aligned} \text{➤ } X_1 &= \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} \quad (\text{SNI 03-1729-2002 tabel 8.3-2}) \\ &= \frac{\pi}{3380000} \sqrt{\frac{200.000 \cdot 80000 \cdot 2061667 \cdot 10770}{2}} \\ &= 12382 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } X_2 &= 4 \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)^2 \frac{I_w}{I_y} \quad (\text{SNI 03-1729-2002 tabel 8.3-2}) \\ &= 0,000157 \text{ mm}^4/\text{N}^2 \end{aligned}$$

➤ **Perhitungan Kekuatan**

Semua pelat badan yang mempunyai $a/h > 3,0$ harus dianggap tidak diperkaku, dengan h adalah tinggi panel yang terbesar di bentang tersebut.

(SNI 03-1729-2002 pasal 8.7.4)

$$\frac{a}{h} > 3,0 = \frac{1000}{577} > 3,0$$

$$1,733 > 3,0 \quad (\text{Tidak Ok}) \text{ Perlu Pengaku}$$

Syarat yang harus dipenuhi untuk balok dengan pengaku, maka sesuai dengan SNI 03-1729-2002 rumus pasal 8.7-2.a

$$\left(\frac{h}{t_w} \right) \leq 7,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\left(\frac{577}{13} \right) \leq 7,07 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$44,38 \leq 204,093 \rightarrow \text{Tebal plat badan memenuhi}$$

1. Momen nominal pengaruh tekuk lokal

Momen nominal penampang untuk :

➤ Penampang compact $\lambda \leq \lambda_p$

SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.3

$$\rightarrow M_n = M_p$$

➤ Penampang non-compact $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$

SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.4

$$\rightarrow M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}$$

➤ Penampang compact $\lambda_r \leq \lambda$

SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.5

$$\rightarrow M_n = M_r (\lambda_r / \lambda)^2$$

➤ **Pengaruh tekuk lokal pada sayap:**

Cek Kelangsingan sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f} = 9$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{240}} = 32$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} = \frac{370}{\sqrt{240 - 70}} = 28$$

$$M_p = f_y \times Z_x = 240 \times 2656000,5$$

$$= 637.440.120 \text{ Nmm}$$

$$M_r = S_x \times (f_y - f_r) = 3380000 \times (240 - 70) \\ = 574600000 \text{ Nmm}$$

Termasuk penampang kompak

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow 9 \leq 32$$

$$\rightarrow M_n = M_p = 37.0120 \text{ Nmm}$$

➤ **Pengaruh tekuk lokal pada badan:**

Cek Kelangsingan badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 44,38$$

$$\lambda_p = \frac{180}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}} = \frac{2550}{\sqrt{240}} = 164,6$$

$$M_p = f_y \times Z_x = 240 \times 2656000,5$$

$$= 637.440.120 \text{ Nmm}$$

$$M_r = S_x \times (f_y - f_r) = 3380000 \times (240 - 70) \\ = 574600000 \text{ Nmm}$$

Termasuk penampang kompak

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow 39,23 \leq 108,4432$$

$$\rightarrow M_n = M_p = 37.0120 \text{ Nmm}$$

2. Momen nominal pengaruh tekuk lateral

Momen nominal komponen struktur dengan pengaruh tekuk lateral, untuk :

➤ Bentang Pendek $L \leq L_p$

SNI 03-1729-2002 pasal 8.3.3

$$\rightarrow M_n = M_p$$

➤ Bentang Menengah $L_p \leq L \leq L_r$

SNI 03-1729-2002 pasal 8.3.4

$$\rightarrow M_n = C_b [M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)}] \leq M_p$$

➤ Bentang Panjang $L \leq L_r$

SNI 03-1729-2002 pasal 8.3.5

$$\rightarrow M_n = M_{cr} \leq M_p$$

Panjang bentang maksimum untuk balok yang mampu menerima momen plastis:

$$L_p = 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$L_p = 1,76 \times 41,3 \times \sqrt{\frac{200.000}{240}}$$

$$= 2190 \text{ mm}$$

panjang bentang minimum untuk balok yang kekuatannya mulai ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral:

$$f_L = f_y - f_t = 240 - 70 = 140 \text{ Mpa}$$

$$L_r = r_y \left[\frac{X_1}{f_L} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}} = 6320 \text{ mm}$$

Panjang bentang terhadap sumbu y (jarak dukung lateral) $L = L_y = 6000 \text{ mm}$

$$L_p \leq L \leq L_r$$

$$2190 \text{ mm} \leq 6000 \text{ mm} \leq 6320 \text{ mm}$$

Maka termasuk bentang menengah

$$\text{Maka } M_n = C_b [M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)}] \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3$$

$$C_b = \frac{12,5 (409729836)}{2,5(409729836) + 3(138208681,9) + 4(328876711) + 3(138189721)} \leq 2,3$$

$$C_b = 1,62$$

$$M_r = (f_y - f_r) \cdot S_x = (240 - 170) 3380000 = 574600000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Maka } M_n = 1,62 [574600000 + (637.440.120 -$$

$$574600000) \frac{(6320 - 6000)}{(6320 - 2190)}] \leq M_p$$

$$936.504.816 \leq 637.440.120$$

$$\text{Maka } M_n = 637.440.120 \text{ Nmm}$$

3. Tahanan Momen Lentur

- a. Momen nominal tekuk lokal sayap

$$M_n = 637.440.120 \text{ Nmm}$$

Momen nominal tekuk lokal badan

$$M_n = 637.440.120 \text{ Nmm}$$

- b. Momen nominal tekuk lateral

$$M_n = 637.440.120 \text{ Nmm}$$

Momen nominal diambil yang terkecil menentukan

$$M_n = 637.440.120 \text{ Nmm}$$

Tahanan Momen Lentur

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9 \cdot 637.440.120 = 573696108 \text{ Nmm}$$

Syarat yang harus dipenuhi

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2a)

$$M_u \leq \phi_b \cdot M_n$$

$$09.729.83 \text{ Nmm} \leq 573.910.8 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK})$$

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} = \frac{409.729.836}{573696108} = 0,71 < 1,0 \rightarrow (\text{OK})$$

4. Tahanan Geser

Tahanan geser nominal plat badan dihitung sebagai :

➤ Untuk nilai

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}; K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2a)

Tahanan geser **plastis**

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.3)

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

➤ Untuk nilai

$$1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2b)

Tahanan geser elasto plastis

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.4)

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \left[1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \right] \frac{1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}$$

➤ Untuk nilai

$$1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w}\right) \text{ (SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2c)}$$

Tahanan geser **elastis**

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.5)

$$V_n = \frac{0,9 \cdot A_w \cdot K_n \cdot E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$$

Luas penampang badan

$$A_w = t_w \cdot h_t = 13 \cdot 600 = 7800 \text{ mm}^2$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{1000}{577}\right)^2} = 6,665$$

Perbandingan tinggi terhadap tebal pelat badan

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}$$

$$\left(\frac{577}{13}\right) \leq 1,10 \sqrt{\frac{6,665 \cdot 200.000}{240}}$$

$$44,38 \leq 1,10 \cdot 74,5$$

$$44,38 \leq 81,97 \rightarrow (\text{OK})$$

Maka termasuk tahanan geser plastis

Tahanan geser nominal dihitung

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot 240 \cdot 7800 \\ &= 1123200 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan gaya geser

$$\phi_f \cdot V_n = 0,75 \cdot 1123200 = 842400 \text{ Nmm}$$

Syarat yang harus dipenuhi

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.1)

$$V_u \leq \phi_f \cdot V_n$$

$$144.394,34 \text{ Nmm} \leq 842.400 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK})$$

5. Interaksi Geser dan Lentur

Elemen yang memikul kombinasi geser dan lentur harus melakukan kontrol sbb :

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.9.3)

$$\begin{aligned} \frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi_f \cdot V_n} &\leq 1,375 \\ \frac{409.729.836}{573696108} + 0,625 \frac{144.394,34}{842.400} &\leq 1,373 \\ 0,821 &\leq 1,373 \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

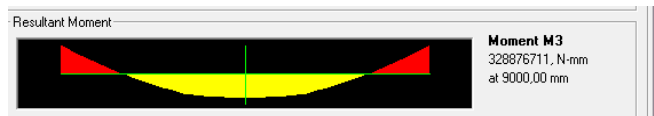
6. Kontrol Lendutan

$$(5L^2)[M_s - 0,1(M_a + M_b)] / (48EI)$$

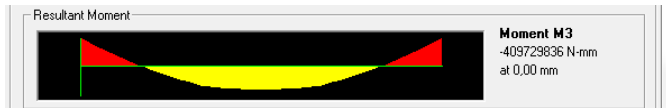
M_s = Momen di tengah lapangan

M_a = Momen Tumpuan

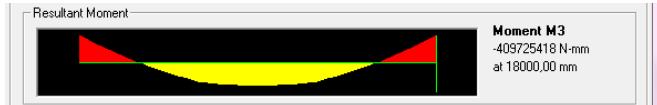
M_b = Momen Tumpuan



$$M_s = 328876711 \text{ Nmm}$$



$$M_a = 409729836 \text{ Nmm}$$

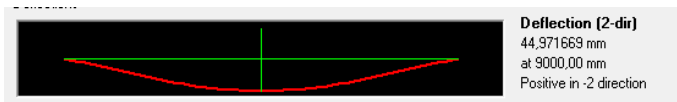


$$M_b = 409725418 \text{ Nmm}$$

Lendutan yang terjadi

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(5L^2)[M_s - 0,1(M_a + M_b)]}{(48EI)} \\
 &= \frac{(5 \cdot 18.000^2)[328876711 - 0,1(409729836 + 409725418)]}{(48 \cdot 200.000 \cdot 1030000000)} \\
 &= 40,46 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Lendutan yang terjadi (OUTPUT SAP)



$$= 44,97 \text{ mm}$$

Batas Lendutan Maksimum

(SNI 03-1729-2002 Tabel 6.4-1)

$$\frac{L}{360} = \frac{18.000 \text{ mm}}{360} = 50 \text{ mm}$$

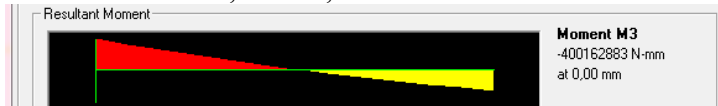
$$= 0, \text{ m} < 50 \text{ mm} \rightarrow (\text{OK})$$

4.7.2 Kontrol Dimensi Balok Anak

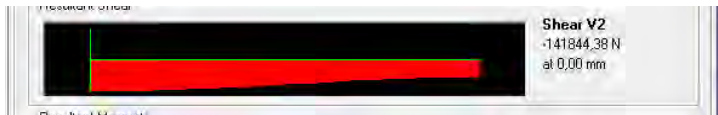
Berikut adalah hasil output gaya-gaya yang terjadi pada program output SAP 2000

Frame : 224

Kombinasi maks. 1,2 D + 1,6 L



$$M_u = 400.162.883 \text{ N-mm}$$



$$V_u = 141.844,38 \text{ N}$$

4.7.2.1 Perencanaan Balok Anak Melintang

$$L = 6000 \text{ mm}$$

Profil WF 600.200.13.23

➤ Data Bahan

$$BJ = 37$$

Tegangan Leleh Baja

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

Tegangan Sisa

$$f_r = 70 \text{ Mpa}$$

Modulus Elastisitas Baja

$$E = 200.000 \text{ Mpa}$$

➤ Data Profil Baja:

Profil = WF 600.200.13.23

ht = 600 mm

bf = 200 mm

tw = 13 mm

tf = 23 mm

r = 22 mm

A = 10770 mm²

Ix = 1030000000 mm⁴

$$\begin{aligned}
 I_y &= 31800000 \text{ mm}^4 \\
 r_x &= 246 \text{ mm} \\
 r_y &= 43,1 \text{ mm} \\
 Z_x &= b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + 1/4 \cdot t_w \cdot (d - 2 \cdot t_f)^2 \\
 &= 200 \cdot 23 \cdot (600 - 23) + 1/4 \cdot 13 \cdot (600 - 2 \cdot 23)^2 \\
 &= 2656000,5 \text{ mm}^3 \\
 S_x &= 3380000 \text{ mm}^3 \\
 S_y &= 314000 \text{ mm}^3 \\
 w &= 1314,0911 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

- Kontrol jarak pengaku lateral
(SNI 03-1729-2002 Pasal 15.7.8) jarak antara daerah yang tidak terkekang arah lateral tidak boleh kurang dari

$$\frac{17500 \cdot r_y}{f_y}$$

Direncanakan jarak pengaku lateral $a = 1000 \text{ mm}$

$$\lambda_b \leq \frac{17500 \cdot r_y}{f_y}$$

$$1000 \text{ mm} \leq \frac{17500 \cdot 43,1}{400}$$

$$1000 \leq 1885,25 \text{ mm} \rightarrow (\text{OK})$$

1. Momen nominal pengaruh tekuk lokal

Momen nominal penampang untuk :

- Penampang compact $\lambda \leq \lambda_p$
SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.3
 $\rightarrow M_n = M_p$
- Penampang non-compact $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$
SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.4
 $\rightarrow M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}$
- Penampang compact $\lambda_r \leq \lambda$
SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.5
 $\rightarrow M_n = M_r (\lambda_r / \lambda)^2$

• Pengaruh tekuk lokal pada sayap:

Cek Kelangsingan sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f} = 9$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{240}} = 32$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} = \frac{370}{\sqrt{240 - 70}} = 28$$

$$M_p = f_y \times Z_x = 240 \times 2656000,5 = 637.440.120 \text{ Nmm}$$

$$M_r = S_x \times (f_y - f_r) = 3380000 \times (240 - 70) \\ = 574600000 \text{ Nmm}$$

Termasuk penampang kompak

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow 9 \leq 32$$

$$\rightarrow M_n = M_p = 37. \quad 0.120 \text{ Nmm}$$

➤ **Pengaruh tekuk lokal pada badan:**

Cek Kelangsingan badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 44,38$$

$$\lambda_p = \frac{1}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}} = \frac{2550}{\sqrt{240}} = 164,6$$

$$M_p = f_y \times Z_x = 240 \times 2656000,5 = 637.440.120 \text{ Nmm}$$

$$M_r = S_x \times (f_y - f_r) = 3380000 \times (240 - 70) \\ = 574600000 \text{ Nmm}$$

Termasuk penampang kompak

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow 39,23 \leq 108,4432$$

$$\rightarrow M_n = M_p = 37. \quad 0.120 \text{ Nmm}$$

Diambil $M_n = 637.440.120 \text{ Nmm}$

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9 \cdot 637.440.120 = 573696108 \text{ Nmm}$$

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u$$

$$573.696.108 \text{ m} \geq 400.162.883 \text{ N-mm} \rightarrow (\text{OK})$$

2. Tahanan Geser

Tahanan geser nominal plat badan dihitung sebagai :

➤ Untuk nilai

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}; K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2a)

Tahanan geser **plastis**

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.3)

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

➤ Untuk nilai

$$1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2b)

Tahanan geser elasto plastis

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.4)

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \left[1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \right] \frac{1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}$$

➤ Untuk nilai

$$1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w}\right) \quad (\text{SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.2c})$$

Tahanan geser **elastis**

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.5)

$$V_n = \frac{0,9 \cdot A_w \cdot K_n \cdot E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$$

Luas penampang badan

$$A_w = t_w \cdot h_t = 13 \cdot 600 = 7800 \text{ mm}^2$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{1000}{577}\right)^2} = 6,665$$

Perbandingan tinggi terhadap tebal pelat badan

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}$$

$$\left(\frac{577}{13}\right) \leq 1,10 \sqrt{\frac{6,665 \cdot 200.000}{240}}$$

$$44,38 \leq 1,10 \cdot 74,5$$

$$44,38 \leq 81,97 \rightarrow (\text{OK})$$

Maka termasuk tahanan geser plastis

Tahanan geser nominal dihitung

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot 240 \cdot 7800 \\ &= 1123200 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan gaya geser

$$\phi_f \cdot V_n = 0,75 \cdot 1123200 = 842400 \text{ Nmm}$$

Syarat yang harus dipenuhi

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.1)

$$V_u \leq \phi_f \cdot V_n$$

$$118,38 \text{ N/mm} \leq 8200 \text{ N/mm} \rightarrow (\text{OK})$$

3. Interaksi Geser dan Lentur

Elemen yang memikul kombinasi geser dan lentur harus melakukan kontrol sbb :

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.9.3)

$$\frac{M_u}{\phi_b M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi_f V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{400.162.883}{573.696.108} + 0,625 \frac{141.844,38}{842.400} \leq 1,373$$

$$0,802 \leq 1,373 \rightarrow (\text{OK})$$

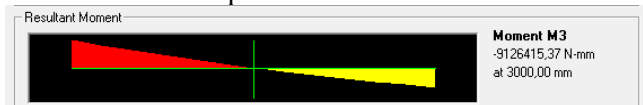
4. Kontrol Lendutan

$$(5L^2)[M_s - 0,1(M_a + M_b)]/(48EI)$$

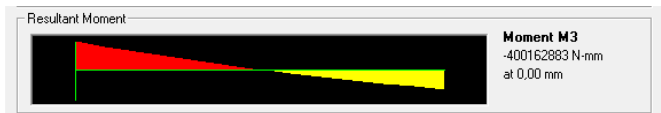
M_s = Momen di tengah lapangan

M_a = Momen Tumpuan

M_b = Momen Tumpuan



$$M_s = 912615,37 \text{ Nmm}$$



$$M_a = 400162883 \text{ Nmm}$$



$$M_b = 257560142,9 \text{ Nmm}$$

Lendutan yang terjadi

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(5L^2)[Ms - 0,1(Ma+Mb)]}{(48EI)} \\
 &= \frac{(5.6000^2)[9126415,37 - 0,1(400162883+257560142,9)]}{(48 \cdot 200.000 \cdot 1030000000)} \\
 &= -1,03 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Lendutan yang terjadi (OUTPUT SAP)



$$= -1,4 \text{ mm}$$

Batas Lendutan Maksimum

(SNI 03-1729-2002 Tabel 6.4-1)

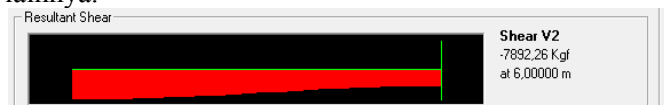
$$\frac{L}{360} = \frac{6.000 \text{ mm}}{360} = 16,67 \text{ mm}$$

$$= 1, < 1,7 \text{ m} \rightarrow (\text{OK})$$

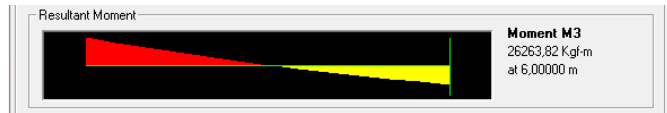
4.7.3 Perencanaan Sambungan

4.7.3.1 Perencanaan Sambungan Balok Anak dan Balok Induk

Sambungan yang digunakan adalah sambungan Baut karena balok anak terletak pada dua tumpuan balok WF lainnya.



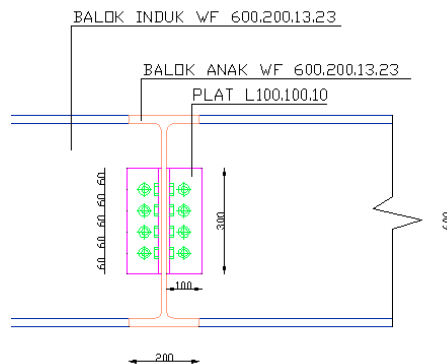
$$V_u = 7892,26 \text{ kg}$$



$$M_u = 26263,82 \text{ kg-m}$$

Balok Anak : WF 600.200.13.23

Balok Induk : WF 600.200.13.23



Gambar 4.7.3.1 Sambungan Balok Anak dan Balok Induk

➤ Sambungan Siku 100.100.10

Direncanakan:

Mutu Baut A-325

$$f_u = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$d_b = 16 \text{ mm} = 1,6 \text{ cm}$$

$$A_b = \frac{1}{4} \pi d^2 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0,5 \text{ (baut tanpa ulir pada bidang geser)}$$

a. Sambungan Pada Badan Balok Anak

Penentuan jumlah baut

kekuatan 1 baut pada sayap :

$$\begin{aligned} \text{kuat geser } (\phi V_n) &= 0,75 \cdot r_1 \cdot f_u \cdot A_{\text{baut}} \cdot m \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 8250 \cdot 2,01 \cdot 2 \\ &= 12445,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{kuat tumpu } (\phi R_n) &= 0,75 * 2,4 * d_b * t_p * f_u \\
 &= 0,75 * 2,4 * 1,6 * 1,0 * 3700 \\
 &= 10656 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kuat 1 baut diambil} = 10656 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 n = \frac{V_u}{\phi V_n} &= \frac{7892,26}{10656} = 0,74 \approx \text{buah baut jumlah baut} \\
 &\text{yang diperlukan} \\
 &\text{dipasang 4 buah baut diameter 16 mm}
 \end{aligned}$$

b. Sambungan Pada Badan Balok Induk

Penentuan jumlah baut

kekuatan 1 baut pada sayap :

$$\begin{aligned}
 \text{kuat geser } (\phi V_n) &= 0,75 * r_1 * f_u^b * A_{\text{baut}} * m \\
 &= 0,75 * 0,5 * 8250 * 2,01 * 2 \\
 &= 12445,7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{kuat tarik } (\phi R_n) &= 0,75 * f_u^b * A_{\text{baut}} \\
 &= 0,75 * 8250 * 2,01 \\
 &= 12436,875 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{kuat tumpu } (\phi R_n) &= 0,75 * 2,4 * d_b * t_p * f_u \\
 &= 0,75 * 2,4 * 1,6 * 1,0 * 3700 \\
 &= 10656 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kuat 1 baut diambil} = 10656 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 n = \frac{V_u}{\phi V_n} &= \frac{7892,26}{10656} = 0,74 \approx \text{buah baut jumlah baut} \\
 &\text{yang diperlukan} \\
 &\text{dipasang 4 buah baut diameter 16 mm}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol Kekuatan Siku Penyambung

d. Kontrol terhadap leleh

$$\begin{aligned}
 A_g * 0,9 * f_y &\geq V_u \\
 A_g * 0,9 * f_y &= (20 * 1) * 0,9 * 2400 \\
 &= 43.200 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$43.200 \text{ kg} \geq 7.892,2 \text{ kg} \rightarrow (\text{OK})$$

Kontrol terhadap putus

$$\begin{aligned}
 A_n * 0,75 * f_u &\geq V_u \\
 &= (A_g - \sum d' * t_w) * 0,75 * f_u \geq V_u \\
 &= ((30 * 1) - ((1,6 + 0,2) * 1,3)) * 0,75 * 3700
 \end{aligned}$$

$$= 76.756,5 \text{ kg}$$

$$= 7.75,5 \text{ kg} \geq 7.892,2 \text{ kg} \rightarrow (\text{OK})$$

e. Kontrol Jarak Baut

SNI 03-1729-2002 Pasal 13.4

Jarak ke tepi = 1,5db s/d (4tp+100) atau 200mm

$$1,5 \text{ db} = 1,5 * 16 = 24 \text{ mm}$$

$$4tp+100 = 4*10+100 = 140 \text{ mm}$$

Jarak antar baut = 3db s/d 15tp atau 200mm

$$3db = 3*16 = 48 \text{ mm}$$

$$15tp = 15 * 10 = 150 \text{ mm}$$

4.7.3.2 Perencanaan Sambungan Balok WF dan Kolom beton

Sambungan yang direncanakan pada balok WF dengan kolom beton menggunakan sambungan baut dan las.

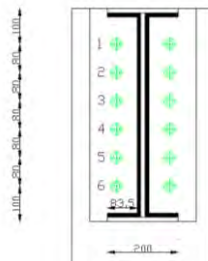


$$V_u = 14724,12 \text{ kg}$$



$$M_u = 41780,81 \text{ kg-m}$$

Balok Induk : WF 600.200.13.23



Gambar 4.7.3.2 Sambungan Balok WF dan Kolom Beton

Direncanakan:

Tebal plat : 10 mm

Mutu Baut A-325

Mutu Baja : BJ 37

f_u^b : 8250 kg/cm²

d_b : 20 mm = 2cm

A_{baut} : $\frac{1}{4} \pi d_b^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 20^2 = 314,29 \text{ mm}^2$

r_1 : 0,5 (Baut tanpa ulir pada bidang geser)

tw : 3 mm

te : $0,707 \cdot tw = 0,707 \cdot 3 = 2,121 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm}$

f_{uw} : 490 mm

1. Perhitungan Las

$$\begin{aligned} \text{Panjang Las} &= (2 \cdot (600 - 23 - 23)) + ((2 \cdot (200 - 13))) \\ &= 1482 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kuat Las Sudut:

- Tahanan terhadap las

(SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.10) rumus 13.5-3a

$$\begin{aligned} \phi_f R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot f_{uw} \\ &= 0,75 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 0,6 \cdot 490 \text{ Mpa} \\ &= 661,5 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

- Tahanan terhadap bahan dasar baja

(SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.10) rumus 13.5-3b

$$\begin{aligned} \phi_f R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 0,6 \cdot 370 \text{ Mpa} \\ &= 499,5 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_f R_{nw} \text{ las} &= 661,5 \text{ N/mm} > \phi_f R_{nw} \text{ bahan dasar baja} \\ &= 499,5 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka dipakai } \phi_f R_{nw} &= \phi_f R_{nw} \text{ bahan dasar baja} \\ &= 499,5 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

➤ Akibat Geser Sentris

$$R_u = \frac{P_u V}{L_{total}} = \frac{147241,2 \text{ N}}{1482 \text{ mm}} = 99,353 \text{ N/mm}$$

Cek syarat :

$$\begin{aligned} R_u &\leq \phi_f R_{nw} \\ 99,353 \text{ N/mm} &< 499,5 \text{ N/mm (memenuhi)} \end{aligned}$$

➤ **Akibat Geser Lentur**

Menghitung modulus penampang (S)

$$\begin{aligned} S &= (bd + (d^2/3)) \\ &= (200 \cdot 554) + ((554^2)/3) \\ &= 213105,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$R_u = \frac{M_u}{S} = \frac{417808,1}{213105,333} = 1,960$$

Cek syarat :

$$\begin{array}{rcl} R_u & \leq & \phi_f R_{nw} \\ 1,960 \text{ N/mm} & < & 499,5 \text{ N/mm (memenuhi)} \end{array}$$

2. Perhitungan Baut

Tahanan Geser

$$\begin{aligned} V_d &= 15,6 \text{ kN (Brosur Dynabolt)} \\ &= 15600 \text{ N} \end{aligned}$$

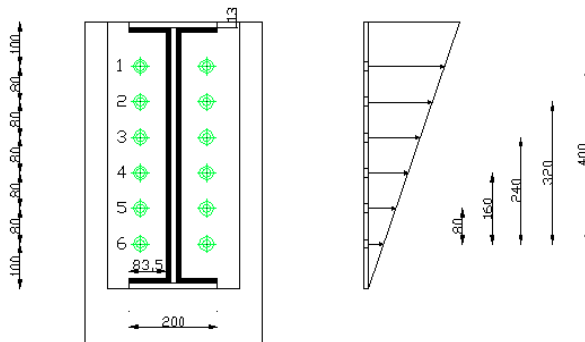
Tahanan Tarik

$$\begin{aligned} T_d &= 16,6 \text{ kN (Brosur Dynabolt)} \\ &= 16600 \text{ N} \end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned} T_d &= 0,75 \cdot 0,75 \cdot (8250/10) \cdot 314,29 \\ &= 145848,21 \text{ N} \end{aligned}$$

Akibat Lentur



Gambar 4.7.3.3 Diagram reaksi pada sambungan baut

$$T_{u_{maks}} = \frac{M_u \cdot d_{maks}}{\sum y^2}$$

$$= \frac{417808100 \cdot 80}{2 \cdot ((80^2) + (160^2) + (240^2) + (320^2) + (400^2))}$$

$$= 47478 \text{ N}$$

Cek Kontrol Tarik

$$T_{u_{\max}} < T_d$$

$$47.478,21 \text{ N} < 145848,21 \text{ N}$$

Cek Kontrol Geser

$$V_u = \frac{P_u}{n} = \frac{147241,2 \text{ N}}{12} = 12270,1 \text{ N} < 15600 \text{ N (OK)}$$

Kontrol Jarak Baut

SNI 03-1729-2002 Pasal 13.4

Jarak ke tepi = 1,5db s/d (4tp+100) atau 200mm

$$1,5 \text{ db} = 1,5 \cdot 20 = 30 \text{ mm}$$

$$4tp+100 = 4 \cdot 10 + 100 = 140 \text{ mm}$$

Jarak antar baut = 3db s/d 15tp atau 200mm

$$3db = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

$$15tp = 15 \cdot 10 = 150 \text{ mm}$$

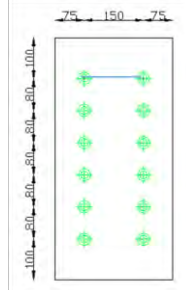
Tinjauan Pelat

Kondisi leleh :

$$\begin{aligned} \phi N_n &= \phi A_g f_y \\ &= 0,9 \cdot (10 \cdot 300) \cdot 240 \\ &= 648000 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi fraktur :

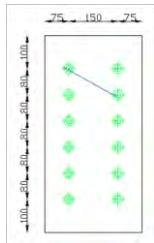
Gambar Arah robekan pada kondisi fraktur 1



$$A_{nt} = A_g - n d t$$

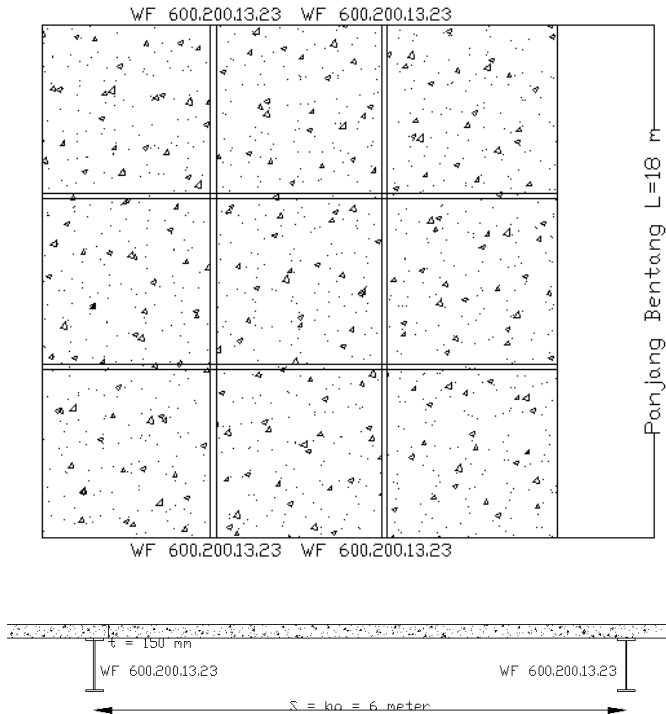
$$\begin{aligned}
 &= (10\text{mm} \cdot 300\text{mm}) - (2 \cdot (20\text{mm} + 3) \cdot 10\text{mm}) \\
 &= 2540 \text{ mm}^2 \\
 A_e &= A_{nt} \cdot U ; U=1 \\
 &= 2540 \text{ mm}^2 \cdot 1 \\
 &= 2540 \text{ mm}^2 \\
 \phi N_n &= 0,75 \cdot A_e \cdot F_u \\
 &= 0,75 \cdot 2540 \text{ mm}^2 \cdot 370 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 704850 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gambar Arah robekan pada kondisi fraktur 2



$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= A_g - n d t + \sum \frac{s^2 t p}{4 U} \\
 &= (10\text{mm} \cdot 300\text{mm}) - (2 \cdot (20\text{mm} + 3) \cdot 10\text{mm}) + \frac{80^2 \cdot 10}{4 U} \\
 &= 2646,667 \text{ mm}^2 \\
 A_e &= A_{nt} \cdot U ; U=1 \\
 &= 2646,667 \text{ mm}^2 \cdot 1 \\
 &= 2646,667 \text{ mm}^2 \\
 \phi N_n &= 0,75 \cdot A_e \cdot F_u \\
 &= 0,75 \cdot 2646,667 \text{ mm}^2 \cdot 370 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 734450 \text{ N} \\
 \phi N_n \text{ fraktur 1} &= 704850 \text{ N} \\
 \phi N_n \text{ fraktur 2} &= 734450 \text{ N} \\
 \text{maka dipakai } \phi N_n \text{ fraktur 2} \\
 \text{Cek syarat :} \\
 P_u &\leq \phi N_n \\
 147241 \text{ N} &\leq 734450 \text{ N} \rightarrow (\text{OK})
 \end{aligned}$$

4.7.3.3 Perencanaan Shear Connector



Gambar 4.7.3.4 Perencanaan Shear Connector

➤ DATA-DATA

Tebal slab	h_c	= 15 cm
Jarak	$S=b_o$	= 600 cm
Panjang bentang	L	= 18 m

➤ Data Material

a. Beton

Kuat tekan beton	$f_c' = 25 \text{ Mpa}$
Modulus Elastisitas	$E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 23.500 \text{ Mpa}$
Berat Beton bertulang	$W_c = 24 \text{ kN/m}^3$

b. Baja TulanganTegangan leleh baja $f_y = 240 \text{ Mpa}$ Diameter tulangan $\varnothing = 16 \text{ mm}$ **c. Baja Profil**

Mutu baja BJ 37

Tegangan leleh baja $f_y = 240 \text{ Mpa}$ Modulus Elastisitas $E = 200 \text{ Mpa}$

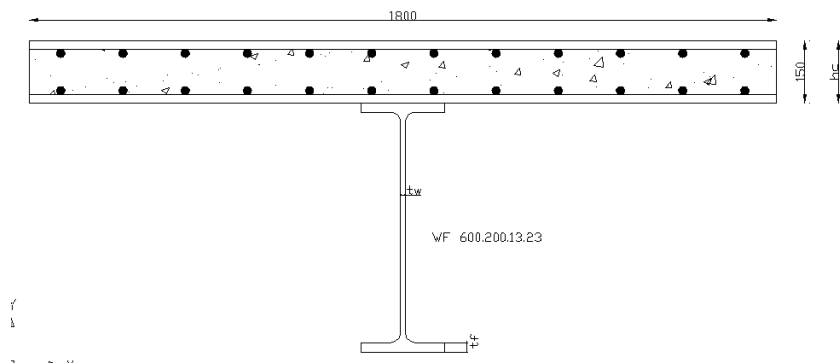
Profil WF. 600.12.13.23

 $I_o = 103000 \text{ cm}^4$ $h_s = 61,2 \text{ cm}$ $A_s = 107,7 \text{ cm}^2$ $q_s = 134 \text{ kg/m} = 1,34 \text{ kN/m}$ **➤ LEBAR EFEKTIF PENAMPANG KOMPOSIT**

Lebar efektif (RSNI T-03-2005)

 $b_E = L/5 = 18\text{m} / 5 = 3,6 \text{ meter}$ $b_E = b_o = 6 \text{ meter}$ $b_E = 12 \cdot h_c = 12 \cdot (0,15 \text{ m}) = 1,8 \text{ meter}$

Sehingga diambil yang terkecil 1,8 meter



Gambar 4.7.3.5 Perencanaan Lebar Efektif

Misal pada lebar efektif 180 cm terdapat 12 buah tulangan ϕ 10 mm atas dan 12 buah tulangan ϕ 10mm pada bagian bawah

➤ **KEKUATAN PLASTIS DAN GARIS NETRAL PLASTIS**

Anggap garis netral plastis ada pada gelagar

➤ Kekuatan tekanan pada plat lantai, (C)

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot B_e \cdot h_c + (A \cdot f_y)c$$

Dimana:

$$\begin{aligned}(A \cdot f_y)c &= (12+12) \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10\text{mm})^2 \cdot (240 \text{ Mpa}) \\ &= 452.160 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot h_c &= 0,85 \cdot (25\text{Mpa}) \cdot (1800\text{mm}) \cdot (150\text{mm}) \\ &= 5737500 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C &= 5737500 \text{ N} + 452160 \text{ N} \\ &= 6.189.660 \text{ N}\end{aligned}$$

➤ Kekuatan tarikan pada gelagar, (T)

$$\begin{aligned}T &= A_s \cdot F_y \\ &= (107,7 \times 100\text{mm}^2) \cdot (240 \text{ Mpa}) \\ &= 2.584.800 \text{ N} < C\end{aligned}$$

➤ Kedalaman daerah tekan pada lantai,

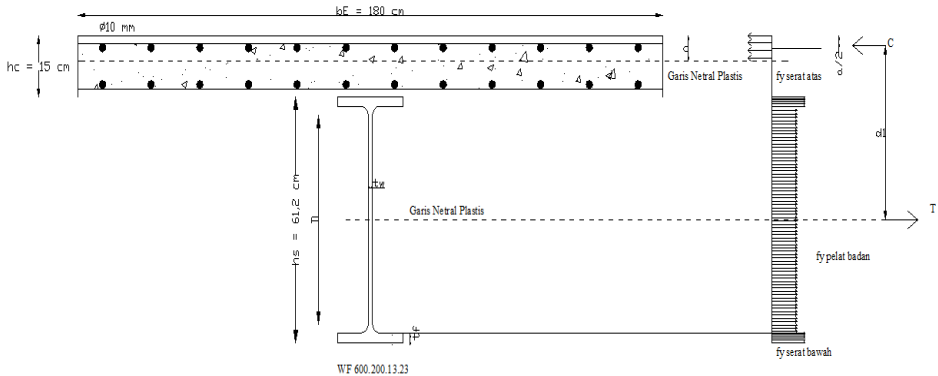
$$\begin{aligned}a &= \frac{T - (A \cdot f_y) \cdot c}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_E} \\ &= \frac{2.584.800 \text{ N} - 452.160 \text{ N}}{0,85 \cdot 25\text{Mpa} \cdot 1800\text{mm}} \\ &= 55,76 \text{ mm} < 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

➤ Garis netral plastis berada pada lantai beton, perhitungan diulangi, tulangan yang mengalami tekan hanya bagian atas sebanyak 12 tulangan

$$\begin{aligned}(A \cdot f_y)c &= (12) \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10\text{mm})^2 \cdot (240 \text{ Mpa}) \\ &= 226.080 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C &= 5737500 \text{ N} + 226.080 \text{ N} \\ &= 5.963.580 \text{ N} > T\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{T - (A \cdot f_y) \cdot c}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_E} \\ &= \frac{2.584.800 \text{ N} - 226.080 \text{ N}}{0,85 \cdot 25\text{Mpa} \cdot 1800\text{mm}} \\ &= 61,67 \text{ mm} < 150 \text{ mm}\end{aligned}$$



Gambar 4.7.3.6 Diagram Tegangan Plastis

➤ Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur nominal

$$\begin{aligned}
 M_s &= T \cdot T_d \\
 &= 2.584.800 \text{ N} \cdot 425,17 \text{ mm} \\
 &= 1.098.917.813,647 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kuat Lentur rencana

$$\begin{aligned}
 M_u &= \phi \cdot M_s \\
 &= 0,9 \cdot 1.098.917.813,647 \text{ Nmm} \\
 &= 989074632,3 \text{ Nmm} \\
 M_u &= 989,075 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

➤ Penghubung Geser (Shear connector)

Berdasarkan RSNI T-03-2005

Gaya geser longitudinal dalam keadaan batas (ultimit),

$$V_L = T = 2.584.800 \text{ N}$$

Gaya Geser rencana,

$$V_{LS} = \frac{V_L}{\phi} = \frac{2.584.800 \text{ N}}{0,75} = 3446400 \text{ N}$$

Syarat-syarat.

Diameter maksimum,

$$1,5 t_f = 1,5 \times (23 \text{ mm}) = 34,5 \text{ mm} = 3,45 \text{ cm}$$

Jarak antara konektor stud,

$$1. \quad 600 \text{ mm} \quad = 60 \text{ cm, atau}$$

2. $2 \times h_c = 2 \times (150\text{mm}) = 300 \text{ mm} = 30\text{cm}$
3. $4 \times L = 4 \times (100\text{mm}) = 400 \text{ mm} = 40 \text{ cm}$



Gambar 4.7.3.7 Konektor Stud

Mutu Baja konektor, BJ-37

Tegangan putus, $f_u = 370 \text{ Mpa}$

Dipakai konektor 13 x 100 (lihat lampiran)

$D = 13 \text{ mm} \times 3,5 \text{ m m} \rightarrow (\text{OK})$

$L = 100 \text{ mm}$

Kekuatan geser satu konektor stud,

$$\begin{aligned} V_{su} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot f_u \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13\text{mm})^2 \cdot (370 \text{ Mpa}) \\ &= 49086,05 \text{ N} \end{aligned}$$

Jumlah konektor stud

$$\begin{aligned} n &= \frac{V_{LS}}{0,55 \cdot V_{SU}} = \frac{3446400 \text{ N}}{0,55 \cdot 49086,05 \text{ N}} \\ &= 128 \text{ buah (untuk 1 baris)} \end{aligned}$$

Rencanakan 1 baris konektor stud 64 buah sepanjang bentang gelagar 18 meter.

Jarak terjauh antara konektor

$$= (1800\text{cm}) / (64\text{buah})$$

$$= 28,125 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$$

Berdasarkan SNI 03-1729-2002

Gaya geser longitudinal dalam keadaan batas (ultimit)

$$V_L = T = 2.584.800 \text{ N}$$

Gaya Geser rencana,

$$V_{LS} = \frac{V_L}{\phi} = \frac{2.584.800 \text{ N}}{0,85} = 3040941 \text{ N}$$

Syarat-syarat.

Diameter maksimum,

$$2,5 t_f = 2,5 \times (23\text{mm}) = 57,5 \text{ mm} = 5,75 \text{ cm}$$

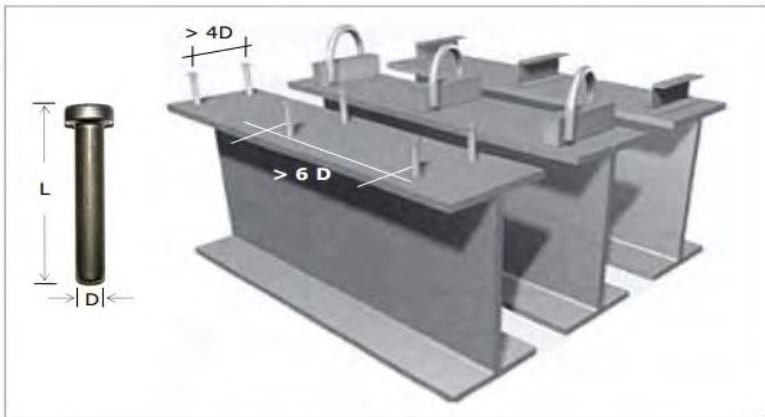
Jarak antara konektor stud,

Jarak longitudinal $> 6 \times D$

$$= 6 \times 13\text{mm} = 78\text{mm} = 7,8\text{cm}$$

Jarak tegak lurus longitudinal $> 4 \times D$

$$= 4 \times 13 \text{ mm} = 52\text{mm} = 5,2\text{cm}$$



Gambar 4.7.3.7 Jarak antara konektor stud

Konektor stud (lihat lampiran)

Mutu Baja konektor, BJ-37

Tegangan putus, $f_u = 370 \text{ Mpa}$

Dipakai konektor 13×100 (lihat lampiran)

$D = 13 \text{ mm} \times 3,5 \text{ m} \rightarrow (\text{OK})$

$L = 100 \text{ mm}$

Kekuatan nominal satu konektor stud

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{s \text{ Con}} \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c}$$

$$Q_n = 0,5 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2) \cdot \sqrt{(25 \text{ Mpa}) \cdot 23500 \text{ Mpa}}$$

$$= 50842,90 \text{ N}$$

atau

$$\begin{aligned}
 Q_n &= 0,5 \cdot A_{s_{con}} \cdot f_u \\
 &= 0,5 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2) \cdot (370 \text{ Mpa}) \\
 &= 49086,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jumlah konektor stud

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{V_{LS}}{0,55 \cdot Q_n} = \frac{3040941 \text{ N}}{0,55 \cdot 49086,1 \text{ N}} \\
 &= 112,64 \text{ buah (untuk 2 baris)}
 \end{aligned}$$

Rencanakan 1 baris konektor stud 60 buah sepanjang bentang gelagar 18 meter.

Jarak terjauh antara konektor

$$\begin{aligned}
 &= (1800 \text{ cm}) / (60 \text{ buah}) \\
 &= 30 \text{ cm} < 30 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

KESIMPULAN

- 1). Jumlah konektor stud (diameter 13 mm) pada seluruh bentang gelagar untuk 2 baris berdasarkan,
 - ❖ RSNI T-03-2005 (Struktur Baja Untuk Jembatan), sebanyak 128 buah.
 - ❖ SNI 03-1729-2002 (Struktur Baja Untuk Gedung), sebanyak 120 buah.

- 2). Faktor Reduksi Kekuatan,

- ❖ RSNI T-03-2005, $\phi = 0,75$
- ❖ SNI 03-1729-2002, $\phi = 0,85$

- 3). Kekuatan geser nominal konektor stud

- ❖ RSNI T-03-2005, hanya berdasarkan kekuatan bahan baja.
- ❖ SNI 03-1729-2002, berdasarkan kekuatan beton atau kekuatan bahan baja.

4.8 Perhitungan Kolom

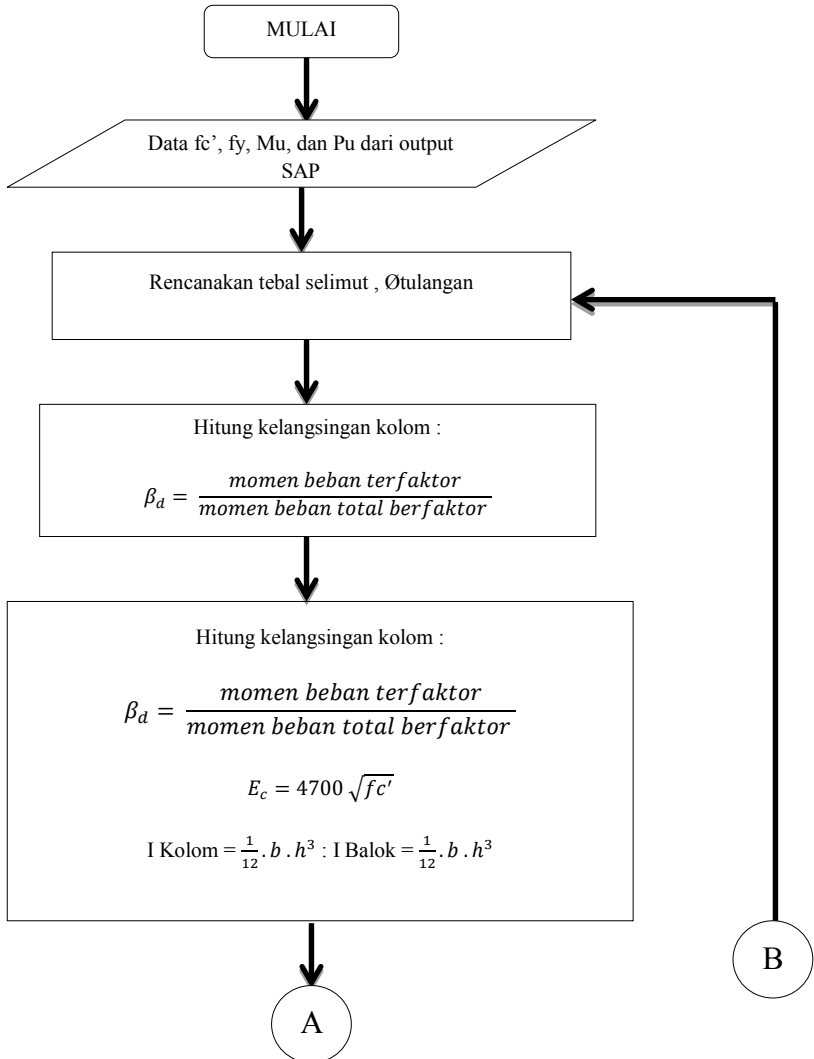
Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As G-5 pada lantai 1. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output dan diagram gaya dalam dari analisis SAP 2000, ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan kolom dalam metode SRPMM, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom sebagai berikut:

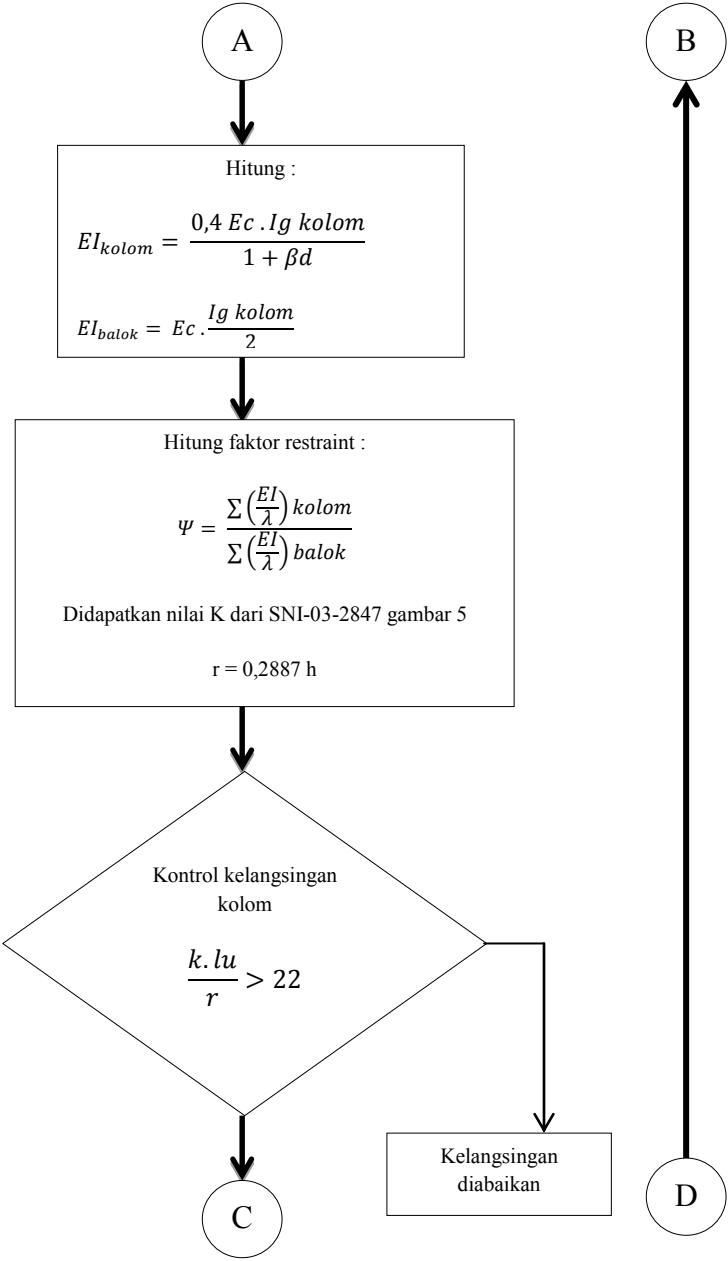
4.8.1 Penulangan Lentur Kolom

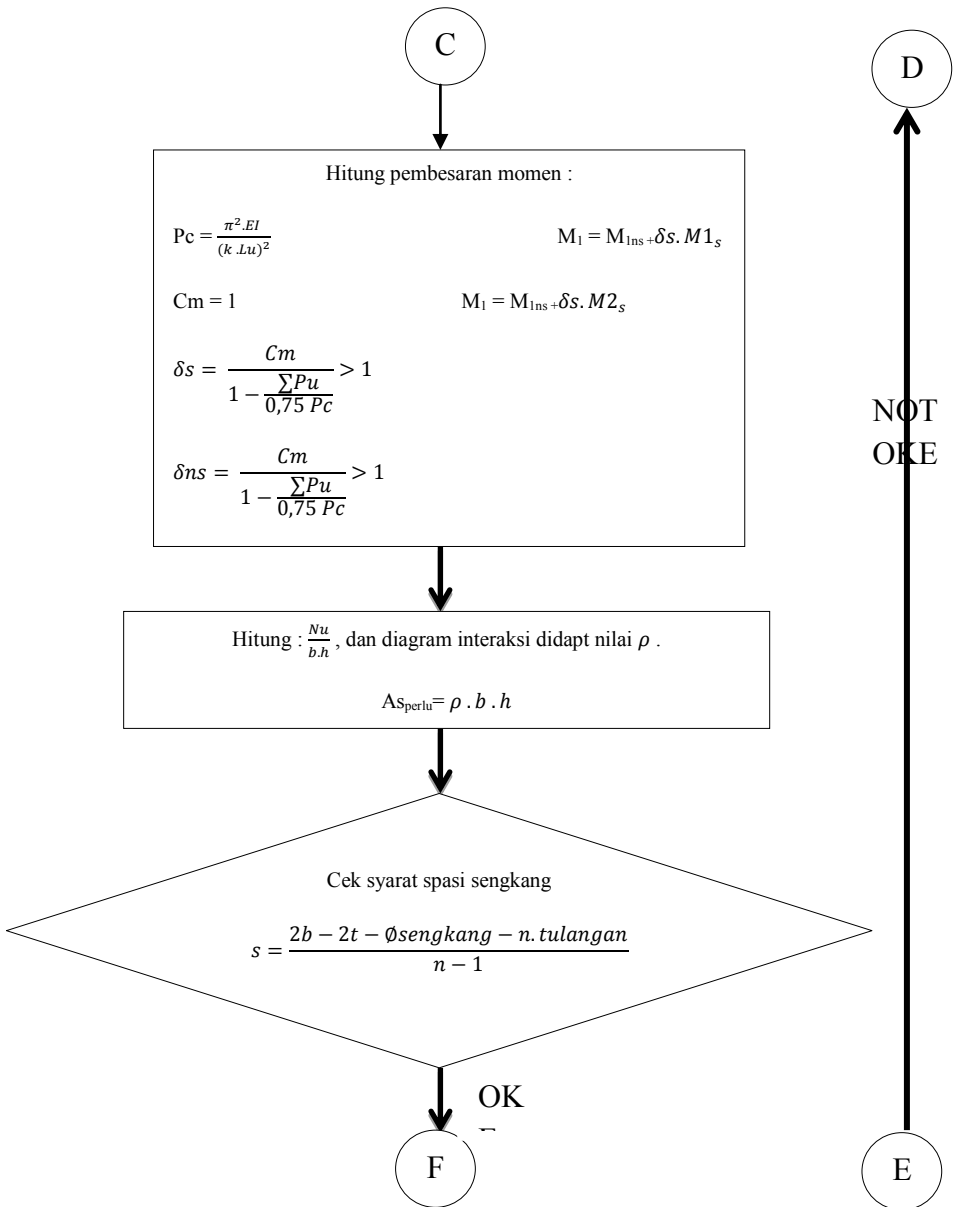
➤ Data-data perencanaan :

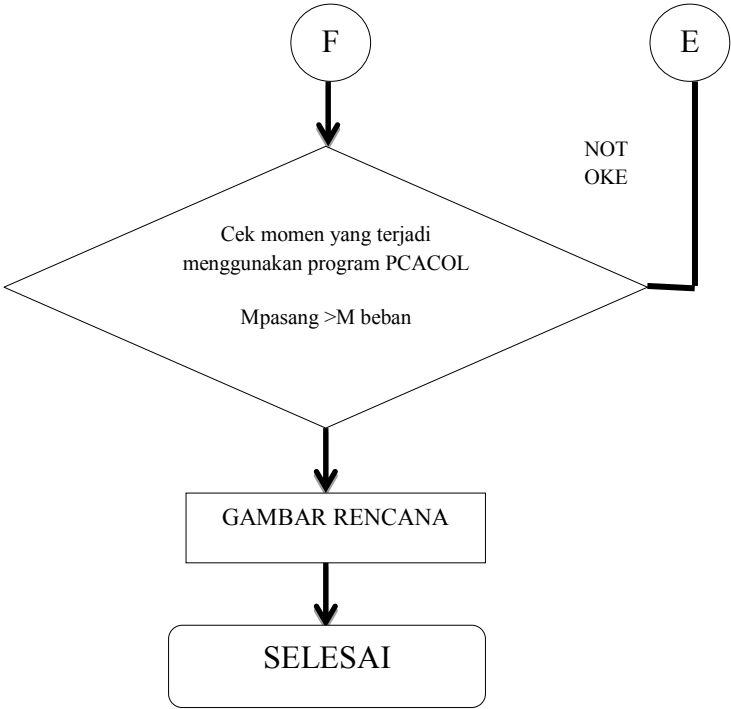
Tipe Kolom	= K-1
b kolom	= 400 mm
h kolom	= 400 mm
L kolom	= 4000 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 Mpa
Modulus elastisitas beton (E_c)	= $4700\sqrt{f_c'}$
Modulus elastisitas baja (E_s)	= 200000 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_y geser)	= 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm
Tebal selimut beton (decking)	= 40 mm
	(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1-C)
Faktor β_1	= 0.85
	(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)
Faktor reduksi kekuatan lentur (\emptyset)	= 0.8
	(SNI 03-2847-2002 pasal 11.3)
Faktor reduksi kekuatan geser (\emptyset)	= 0.75
	(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

➤ Flowchart Kolom :







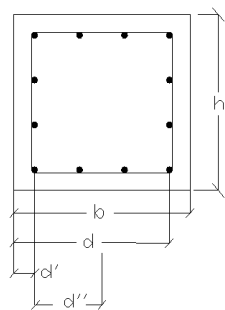


Maka, tinggi efektif kolom :

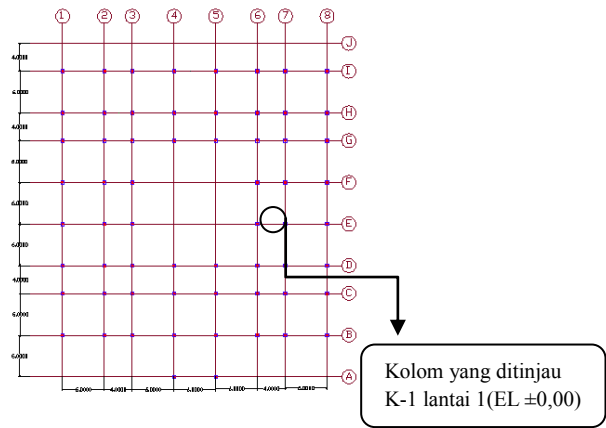
$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\ &= 400 - 40 - 10 - (1/2 \times 19) \\ &= 341 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\ &= 40 + 10 + (1/2 \times 19) \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= 450 - 40 - 10 - (1/2 \times 19) - (1/2 \times 400) \\ &= 141 \text{ mm} \end{aligned}$$



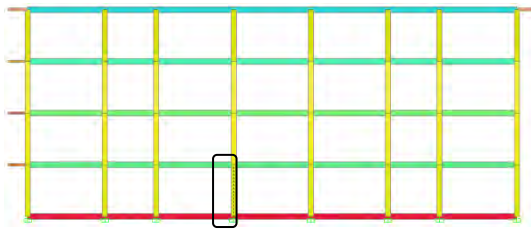
Gambar 4.8 1 Tinggi Efektif Kolom



Gambar 4.8 2 Denah Posisi Kolom K-1 (40/40)



Gambar 4.8 3 Posisi K-1 (40/40) Pada Sumbu X-Z



Gambar 4.8 4 Posisi K-1 (40/40) Pada Sumbu Y-Z

Berdasarkan hasil out put progam SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya Aksial dalam arah X dan Y pada kolom K-1 sebagai berikut :

Gaya Aksial akibat (1,2D)



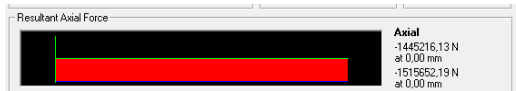
$$P_U = 1.227.388,96 \text{ N}$$

Gaya Aksial akibat (1,2D+1,6L)



$$P_U = 1.632.261,28 \text{ N}$$

Gaya Aksial akibat (1,2DL + 1LL+1Ex+0,3Ey)



$$P_u = 1.515.652,19 \text{ N}$$

➤ Syarat Gaya Aksial Pada Kolom

Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak kurang dari $A_g \cdot f_c'/10$ dan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10(5) harus dipenuhi

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} \leq P_u$$

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} \leq P_u$$

$$\frac{400 \cdot 400 \cdot 25}{10} \leq 1.322.128 \text{ N}$$

$$00.000 \text{ N} \leq 1.322.128 \text{ N (memenuhi)}$$

➤ Kontrol Kelangsingan Kolom

β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum

$$\begin{aligned} \beta_d &= \frac{P_u(1,2D)}{P_u(1,2D + 1,6L)} \\ &= \frac{1.227.388,96}{1.632.261,28} \\ &= 0,752 \end{aligned}$$

➤ Panjang Tekuk Kolom

$$\Psi = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom}}}{\sum (EI/L)_{\text{balok}}} \quad (\text{SNI 2013 Pasal 10.10.4.1b})$$

Untuk kolom (40/40)

$$E_k = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \quad (\text{SNI 2013 Pasal 10.10.4.1b})$$

$$\begin{aligned} I_g &= 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,7 \times 1/12 \times 400 \times (400)^3 \\ &= 1.493.333.333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{25} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 23.500 \text{ Nmm} \\
 \text{Elk} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1+\beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \times 23.500 \times 1.493.333.333}{1 + 0,752} \\
 &= 8012376952243 \text{ Nmm}^2 \\
 &= 8,012 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok memanjang(30/45)

$$\text{Elb} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1+\beta_d} \quad (\text{SNI 2013 Pasal10.10.4.1b})$$

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 300 \times (450)^3 \\
 &= 797.343.750 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{25} \\
 &= 4700 \sqrt{25} \\
 &= 23.500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1+\beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \times 23.500 \times 797.343.750}{1 + 0,752} \\
 &= 4.278.092.869.765 \text{ Nmm}^2 \\
 &= 4,278 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok melintang (30/45)

$$\text{Elb} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1+\beta_d} \quad (\text{SNI 2013 Pasal10.10.4.1b})$$

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 300 \times (450)^3 \\
 &= 797.343.750 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{25} \\
 &= 4700 \sqrt{25} \\
 &= 23.500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Elb} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1+\beta_d}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,4 \times 23.500 \times 797.343.750}{1 + 0,752} \\
 &= 4.278.092.869.765 \text{ Nmm}^2 \\
 &= 4,278 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (K).

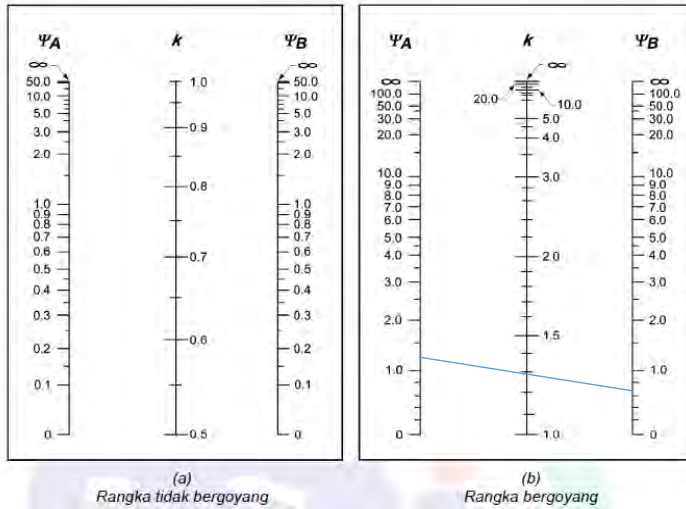
Kolom atas

$$\begin{aligned}
 \Psi &= \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom}}}{\Sigma(EI/L)_{\text{balok}}} \\
 \Psi &= \frac{\left(8,012 \times \frac{10^{12}}{4000}\right) \times 2}{\left(3 \times \left(4,278 \times \frac{10^{12}}{6000}\right)\right) + \left(4,278 \times \frac{10^{12}}{4000}\right)} \\
 &= 1,25
 \end{aligned}$$

Kolom bawah

$$\begin{aligned}
 \Psi &= \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom}}}{\Sigma(EI/L)_{\text{balok}}} \\
 \Psi &= \frac{\left(8,012 \times \frac{10^{12}}{4000}\right)}{\left(3 \times \left(4,278 \times \frac{10^{12}}{6000}\right)\right) + \left(4,278 \times \frac{10^{12}}{4000}\right)} \\
 &= 0,62
 \end{aligned}$$

SNI 2847:2013



Gambar 4.8 5 Faktor Panjang Efektif (K)

[SNI 03-2847-2002 Pasal 10.10.7.2]

Dari grafik didapat $k = 1,28$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1.493.333.333}{400.400}}$$

$$r = 96,609$$

$$\frac{k \times Lu}{r} \geq 22 \quad [\text{SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.2}]$$

$$\frac{1,28 \times 4000}{96,609} \geq 22$$

$$52,997 \geq 22 \text{ (Kolom Langsing)}$$

➤ **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y**

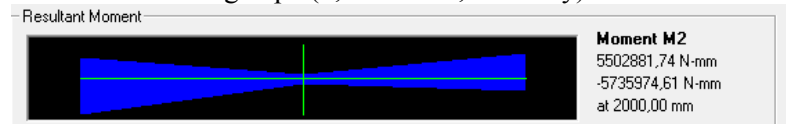
Berdasarkan hasil out put progam SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya Momen dalam arah Y pada kolom K-1 sebagai berikut :

Momen Akibat Pengaruh Gempa :

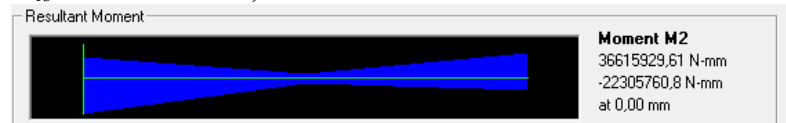
M_{1s} =momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm.
[SNI 03-2847-2002]

M_{2s} =momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm.
[SNI 03-2847-2002]

Akibat kombinasi gempa ($1,2D+1L+0,3Ex+1Ey$) :



$$M_{1s} = 5735974,61 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 36615929,61 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Pengaruh Beban Gravitasi :

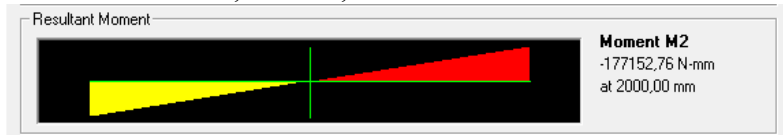
M_{1ns} = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping

[SNI 03-2847-2002]

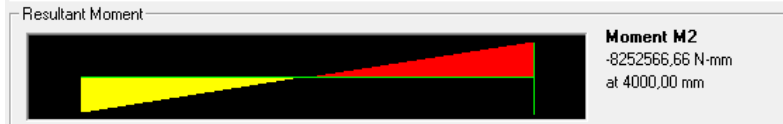
M_{2ns} = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping

[SNI 03-2847-2002]

Akibat kombinasi 1,2DL + 1,6LL :



$$M_{1ns} = 177152,76 \text{ Nmm}$$



$$M_{2ns} = 8252566,66 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai P_c (P kritis) Pada Kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \times EI}{(k \times l_u)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \times (8,012 \times 10^{12})}{(1,28 \times 4000)^2} \\ &= 3.013.566,276 \text{ N} \\ \Sigma P_c &= 62 \times P_c \\ &= 62 \times 3.013.566,276 \\ &= 186.841.109,1 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \geq 1 \text{ (SNI BETON 2013 Pasal 10.10.7.4)} \\ \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{1.632.261,28}{0,75 \times 186.841.109,1}} \geq 1 \\ \delta_s &= 1,012 \geq 1 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka dipakai $\delta_s = 1,012$ dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran Momen

$$\begin{aligned} M_{1y} &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 177.152,76 + (1,012 \times 5.735.974,61) \\ &= 5.980.728 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

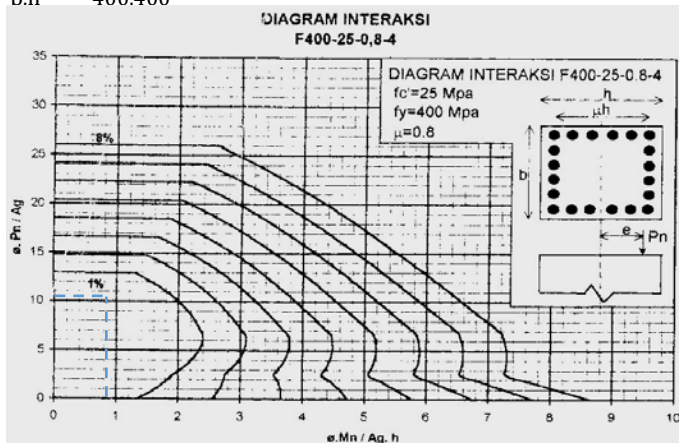
$$\begin{aligned} M_{2y} &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 8.252.566,66 + (1,012 \times 36.615.929,61) \\ &= 45.300.030 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen yang terbesar yaitu :

$$M_{2y} = 45.300.030 \text{ Nmm}$$

$$\frac{N_u}{b \cdot h} = \frac{1.632.261,28}{400 \cdot 400} = 10,201 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{M_u}{b \cdot h^2} = \frac{45.300.030}{400 \cdot 400^2} = 0,708 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4.8 6 Diagram Interaksi

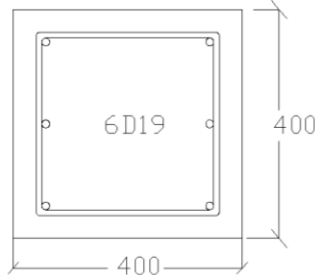
Dari diagram interaksi didapatkan tulangan minimum $\rho_t = 0,01$

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \rho_t \cdot b \cdot h \\
 &= 0,01 \cdot 400 \cdot 400 = 1600 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luasan tulangan D19} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 = 283,52 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{st}}{\text{luasan D19}} \\
 n &= \frac{1600}{283,52}
 \end{aligned}$$

$$n = 5, \text{ buah} \approx \text{5 buah}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah y menggunakan tulangan sebesar 6D19 yang dipasang pada sisi kiri dan kanan penampang kolom.



Gambar 4.8 7 Penampang Kolom dalam arah y

Prosentase tulangan terpasang

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto kolom (Ag)}} \\
 &= \frac{6,025 \cdot \pi \cdot 19^2}{400 \cdot 400} \\
 &= 0,0106 \\
 &= 1,06 \%
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan arah y:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \cdot t_{selimut}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (jml \cdot \phi_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 S_{maks} &= \frac{400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (6 \cdot 19)}{6 - 1}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 37 \geq 25 \text{ (Memenuhi) (SNI 28 7 -2013 Pasal 7.6.1)}$$

Jadi dipasang tulangan kolom dalam arah Y 6D19

Cek Kondisi Balance

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &= (15\text{mm} + 0.03 \times h) \\
 &= (15\text{mm} + 0.03 \times 400\text{mm}) \\
 &= 27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\
 &= \frac{600}{600 + 400} \times 341 \\
 &= 204,3\text{mm} \\
 a_b &= \beta_1 \times X_b \\
 &= 0,85 \times 204,3\text{mm} \\
 &= 173,7\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' &= n/2 \times 0,25 \pi \times D^2 \\
 &= / 2 \times 0,25 \pi \times 19^2 \\
 &= 850,155 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' \times (f_y - 0,85 \times f_c') \\
 &= 850,155 \times (400 - 0,85 \times 25) \\
 &= 321996,206 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_b \\
 &= 0,85 \times 25 \times 400 \times 0,85 \times 204,3 \\
 &= 1476067,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 850,155 \times 400 \\
 &= 340062 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= C_c' + C_s' - T \\
 &= 1476067,5 \text{ N} + 321996,206 \text{ N} - 340062 \text{ N} \\
 &= 1458001,706 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$Mb = Pb \times eb$$

$$\begin{aligned}
 &= Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 1476067,5 \left(341 - 141 - \frac{173,7}{2} \right) \\
 &\quad + 321996,206 (341 - 141 - 59,5) + \\
 &\quad 340062(141) \\
 &= 328081827,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= \frac{Mb}{Pb} \\
 &= \frac{328081827,1}{1458001,706} \\
 &= 225,021 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\text{perlu}} &= \frac{Mu}{Pu} \\
 &= \frac{45.300.030}{0,65} \\
 &= \frac{1.632.261,28}{0,65} \\
 &= 28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi:

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}} \quad (\text{Kondisi Tekan Menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}} \quad (\text{Kondisi Tarik Menentukan})$$

Termasuk dalam kondisi :

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &< e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}} \\
 27\text{mm} &< 28\text{mm} < 225,021\text{mm}
 \end{aligned}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Cek Kondisi Kolom Tekan Menentukan

$$e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$$

$$28 \text{ mm} < 225,021 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Diambil nilai $X = 250 \text{ mm}$

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \quad (f_s < f_y = 400 \text{ MPa})$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \times 0,003 \\ &= \left(\frac{341}{250} - 1\right) \times 0,003 \\ &= 0,0011\end{aligned}$$

$$f_s = \varepsilon_s \times E_s = 0,0011 \times 200000 = 217,2 \text{ Mpa}$$

$$f_s = 217,2 \text{ Mpa} < f_y = 400 \text{ Mpa} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' \times (f_y - 0,85 \times f_c') \\ &= 850,155 \times (400 - 0,85 \times 25) \\ &= 321996,206 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X \\ &= 0,85 \times 25 \times 400 \times 0,85 \times 250 \\ &= 1806250 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s \times \left(\frac{d}{x} - 1\right) \times 600 \\ &= 850,155 \times \left(\frac{341}{250} - 1\right) \times 600 \\ &= 184.653,67 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= C_c' + C_s' - T \\ &= 1806250 \text{ N} + 321996,206 \text{ N} - 184.653,67 \text{ N} \\ &= 1943592,54 \text{ N}\end{aligned}$$

$$P > P_b$$

$$1.943.592,54 \text{ N} > 1.458.001,706 \text{ (**memenuhi**)}$$

$$M_n = P \times e$$

$$\begin{aligned}&= C_c' \left(d - d'' - \frac{\beta_1 X}{2}\right) + C_s'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 1806250 \left(341 - 141 - \frac{0,85 \times 250}{2}\right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 321996,206 (341 - 141 - 59,5) \\
 &+ 184.653,67 (141) \\
 &= 240.520.244,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\emptyset M_n > M_u$$

$$0.65 \times 240.520.244,6 \text{ Nmm} > 45.300.030 \text{ Nmm}$$

$$156.338.159 \text{ Nmm} > 45.300.030 \text{ Nmm} \text{ (**memenuhi**)}$$

➤ **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X**

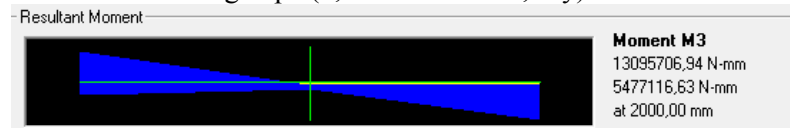
Berdasarkan hasil out put program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya Momen dalam arah X pada kolom K-1 sebagai berikut :

Momen Akibat Pengaruh Gempa :

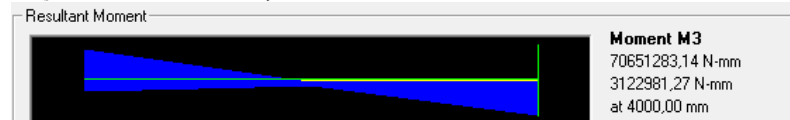
M_{1s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm.
[SNI 03-2847-2002]

M_{2s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm.
[SNI 03-2847-2002]

Akibat kombinasi gempa ($1,2D+1L+1Ex+0,3Ey$) :



$$M_{1s} = 13095706,94 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 70651283,14 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Pengaruh Beban Gravitasi :

M_{1ns} = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping

[SNI 03-2847-2002]

M_{2ns} = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping

[SNI 03-2847-2002]

Akibat kombinasi 1,2DL + 1,6LL :



$$M_{1ns} = 10328808,88 \text{ Nmm}$$



$$M_{2ns} = 41047713,58 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai P_c (P kritis) Pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{(k \times lu)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \times (8,012 \times 10^{12})}{(1,28 \times 4000)^2}$$

$$= 3.013.566,276 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = 62 \times P_c$$

$$= 62 \times 3.013.566,276$$

$$= 186.841.109,1 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum Pu}{0,75 \sum Pc}} \geq 1 \text{ (SNI BETON 2013 Pasal 10.10.7.4)}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{1.632.261,28}{0,75 \times 186.841.109,1}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,012 \geq 1 \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipakai $\delta_s = 1,012$ dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran Momen

$$\begin{aligned} M1x &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 10328808,88 + (1,012 \times 13095706,94) \\ &= 23.578.854 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

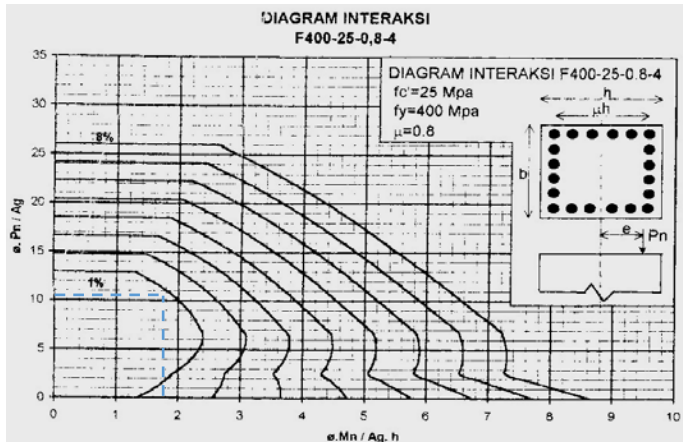
$$\begin{aligned} M2x &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 41047713,58 + (1,012 \times 70651283,14) \\ &= 112.531.650 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen yang terbesar yaitu :

$$\mathbf{M2x = 112.531.650 \text{ Nmm}}$$

$$\frac{Nu}{b.h} = \frac{1.632.261,28}{400.400} = 10,201 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{Mu}{b.h^2} = \frac{112.531.650}{400.400^2} = 1,758 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4.8 8 Diagram Interaksi

Dari diagram interaksi didapatkan tulangan minimum $p_t = 0,01$

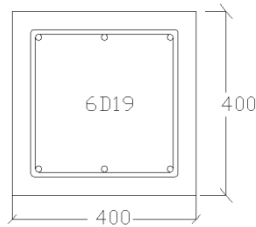
$$A_{st} = p_t \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 400 \cdot 400 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan tulangan D19} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 = 283,52 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{st}}{\text{luasan D19}} = \frac{1600}{283,52}$$

$$n = 5, \text{ buah} \approx \text{5 buah}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah y menggunakan tulangan sebesar 6D19 yang dipasang pada sisi kiri dan kanan penampang kolom.



Gambar 4.8 9 Penampang Kolom dalam arah x

Prosentase tulangan terpasang

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto kolom (Ag)}} \\
 &= \frac{6.0,25 \cdot \pi \cdot 19 \cdot 19}{400 \cdot 400} \\
 &= 0,0106 \\
 &= 1,06 \%
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan arah x:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{tselimut}) - (2 \cdot \text{geser}) - (\text{jml} \cdot \text{Ølentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 S_{\text{maks}} &= \frac{400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (6 \cdot 19)}{6 - 1}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 37 \geq 25 \text{ (Memenuhi) (SNI 28 7 -2013 Pasal 7.6.1)}$$

Jadi dipasang tulangan kolom dalam arah x 6D19

Cek Kondisi Balance

$$\begin{aligned}
 e_{\text{min}} &= (15\text{mm} + 0.03 \times h) \\
 &= (15\text{mm} + 0.03 \times 400\text{mm}) \\
 &= 27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\
 &= \frac{600}{600 + 400} \times 341 \\
 &= 204,3\text{mm} \\
 a_b &= \beta_1 \times X_b \\
 &= 0,85 \times 204,3\text{mm} \\
 &= 173,7\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As' &= n/2 \times 0,25 \pi \times D^2 \\
 &= / 2 \times 0,25 \pi \times 19^2 \\
 &= 850,155 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As' \times (fy - 0,85 \times fc') \\
 &= 850,155 \times (400 - 0,85 \times 25) \\
 &= 321996,206 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times fc' \times b \times \beta_1 \times Xb \\
 &= 0,85 \times 25 \times 400 \times 0,85 \times 204,3 \\
 &= 1476067,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= As \times fy \\
 &= 850,155 \times 400 \\
 &= 340062 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pb &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 1476067,5 \text{ N} + 321996,206 \text{ N} - 340062 \text{ N} \\
 &= 1458001,706 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mb &= Pb \times eb \\
 &= Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 1476067,5 \left(341 - 141 - \frac{173,7}{2} \right) \\
 &\quad + 321996,206 (341 - 141 - 59,5) + \\
 &\quad 340062(141) \\
 &= 328081827,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$eb = \frac{Mb}{Pb}$$

$$= \frac{328081827,1}{1458001,706}$$

$$= 225,021 \text{ mm}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{P_u}$$

$$= \frac{112.531,650}{0,65}$$

$$= \frac{1.632.261,28}{0,65}$$

$$= 68,94 \text{ mm}$$

Kontrol kondisi:

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}} \quad (\text{Kondisi Tekan Menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}} \quad (\text{Kondisi Tarik Menentukan})$$

Termasuk dalam kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$$

$$27\text{mm} < 68,94\text{mm} < 225,021\text{mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Cek Kondisi Kolom Tekan Menentukan

$$e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$$

$$68,94 \text{ mm} < 225,021 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Diambil nilai $X = 250 \text{ mm}$

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \quad (f_s < f_y = 400 \text{ MPa})$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 0,003$$

$$= \left(\frac{341}{250} - 1 \right) \times 0,003$$

$$= 0,0011$$

$$f_s = \varepsilon_s \times E_s = 0,0011 \times 200000 = 217,2 \text{ Mpa}$$

$$f_s = 217,2 \text{ Mpa} < f_y = 400 \text{ Mpa} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$C_s' = A_s' \times (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 850,155 \times (400 - 0,85 \times 25)$$

$$= 321996,206 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X$$

$$= 0,85 \times 25 \times 400 \times 0,85 \times 250$$

$$= 1806250 \text{ N}$$

$$T = A_s \times \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 600$$

$$= 850,155 \times \left(\frac{341}{250} - 1 \right) \times 600$$

$$= 184.653,67 \text{ N}$$

$$P = Cc' + Cs' - T$$

$$= 1806250 \text{ N} + 321996,206 \text{ N} - 184.653,67 \text{ N}$$

$$= 1943592,54 \text{ N}$$

$$P > Pb$$

$$1.943.592,54 \text{ N} > 1.458.001,706 \text{ (memenuhi)}$$

$$Mn = P \times e$$

$$= Cc' \left(d - d'' - \frac{\beta 1.X}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 1806250 \left(341 - 141 - \frac{0.85 \times 250}{2} \right)$$

$$+ 321996,206 (341 - 141 - 59,5)$$

$$+ 184.653,67 (141)$$

$$= 240.520.244,6 \text{ Nmm}$$

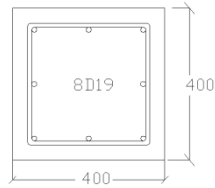
Syarat :

$$\phi M_n > M_u$$

$$0.8 \times 240.520.244,6 \text{ Nmm} > 112.531.650 \text{ Nmm}$$

$$192.416.195,7 \text{ Nmm} > 112.531.650 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan dari sumbu y dan sumbu x, yaitu 8D19 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut:

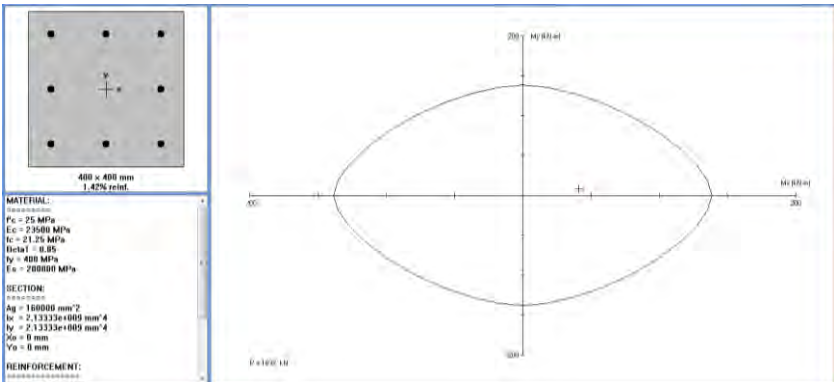


Gambar 4.8 10 Penulangan Lentur Kolom

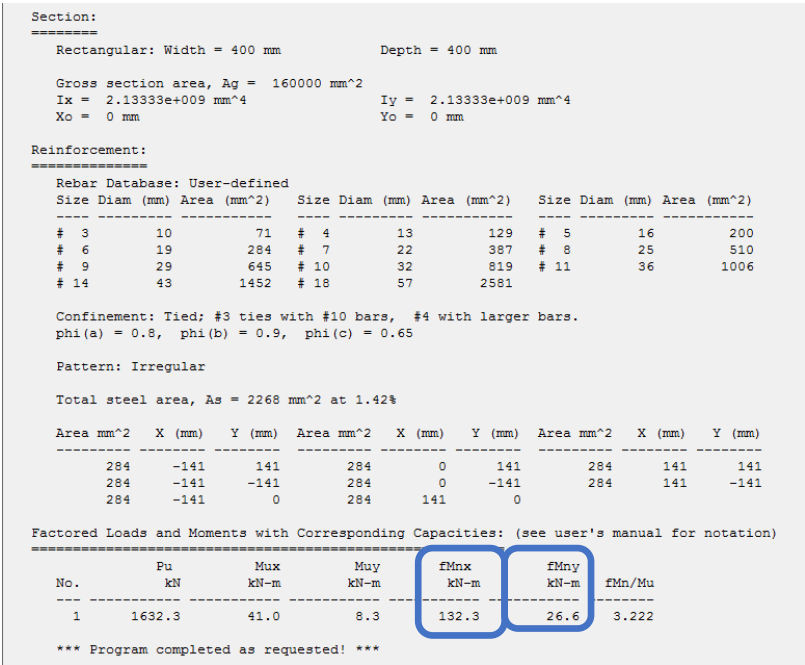
Cek dengan program PCACOL

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PCACOL, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

Mutu beton (f_c')	= 25 N/mm ²
Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur)	= 400 N/mm ²
Modulus Elastisitas (E_c)	= 23.500 N/mm ²
β_1	= 0,85
b kolom	= 400 mm
h kolom	= 400 mm
Tulangan Kolom Pasang	8 D 19



Gambar 4.8 11 Grafik Akibat Momen Pada program PCACOL



Gambar 4.8 12 Hasil Output Pada Program PCACOL

Momen kapasitas penampang yang dihasilkan pada program PCACOL adalah:

Untuk Arah X

$$\phi M_n > M_u$$

$$132,3 \text{ KNm} > 41 \text{ KNm} \text{ (memenuhi)}$$

Untuk Arah Y

$$\phi M_n > M_u$$

$$26,6 \text{ KNm} > 8,3 \text{ KNm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 8D19

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 8 \times 0.25 \times \pi \times 19 \times 19 \\ &= 2267,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{2267,08}{(400 \times 400)} = 0,0147 = 1,417\%$$

4.8.2 Penulangan Geser Kolom

Data-data Perencanaan :

b kolom	= 400 mm
h kolom	= 400 mm
L kolom	= 4000 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 19 mm
Diameter tulangan geser (ϕ geser)	= 10 mm
Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_y geser)	= 240 Mpa
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3]

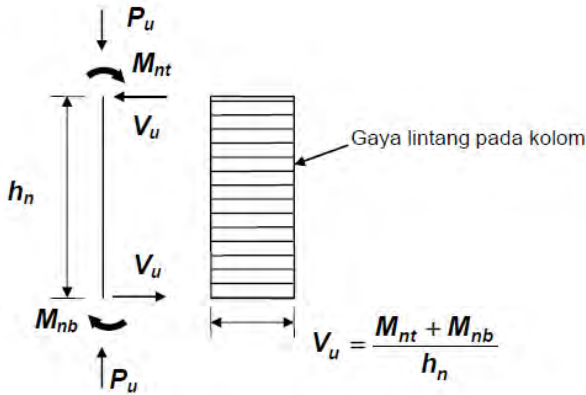
Berdasarkan hasil out put program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya aksial pada kolom K1 sebagai berikut:

Aksial

Gaya Aksial akibat (1,2DL+1LL)

$$P_U = 1.632.261,28 \text{ N}$$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM harus direncanakan sebagai berikut :



Gambar 4.8 13 Gaya Lintang Rencana Untuk SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n}$$

Dimana :

M_{nt} = Momen nominal atas (top) kolom

M_{nb} = Momen nominal bawah (bottom) kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{ut}}{\phi} = \frac{137.000.000}{0,75} = 182.666.667 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{137.000.000}{0,75} = 182.666.667 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \\ &= \frac{182.666.667 + 182.666.667}{4000} \\ &= 91.333,33 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f'c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa
(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.2)

$$\sqrt{f'c'} \leq 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{25\text{Mpa}} \leq 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5\text{Mpa} \leq 8,3\text{Mpa} \text{ (*memenuhi*)}$$

Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned} V_c &= \left[1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right] \times \left[\frac{\sqrt{f'c'}}{6} \right] \times b_w \times d \\ &= \left[1 + \frac{1.632261,28}{14 \times 160000} \right] \times \left[\frac{\sqrt{25}}{6} \right] \times 400 \times 341 \\ &= 196206 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{min}} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times 400 \times 341 \\ &= 45.400 \text{ N} \\ V_{s_{max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{25} \times 400 \times 341 \\ &= 227.000 \text{ N} \\ 2V_{s_{max}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{2}{3} \times \sqrt{25} \times 400 \times 341 \\ &= 454.000 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser :

Kondisi 1

$$\begin{aligned} V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c &\rightarrow \text{Tidak Perlu Tulangan Geser} \\ 91.333,33 \text{ N} \geq 73.577,29 \text{ N} &\text{ (**Tidak Memenuhi**)} \end{aligned}$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tulangan Geser Minimum} \\ 73.577,29 \text{ N} \leq 91.333,33 \text{ N} \leq 147.155 \text{ N} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Kondisi 3

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow \text{Tulangan Geser Minimum}$$

$$147.155 \text{ N} \leq 91.333,33 \text{ N} \leq 181.205 \text{ N} \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Kondisi 4

$$\emptyset \times (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \phi^*(V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow \text{Tulangan Geser}$$

$$181.205 \text{ N} \leq 91.333,33 \text{ N} \leq 317.405 \text{ N} \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan **Kondisi 2**.

$$V_{s,\min} = \frac{b_w \cdot d}{3} = \frac{400 \cdot 341}{3} \\ = 45.400 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ buah} \\ = (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ = 157 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{s_{\text{perlu}}}} \\ = \frac{157 \times 240 \times 341}{45.467} \\ = 283 \text{ mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 2

$$S_{\max} \leq \frac{d}{2} \\ 283 \text{ mm} \leq \frac{341 \text{ mm}}{2}$$

$$283 \text{ mm} \leq 170 \text{ mm} \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$283 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Kolom

Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang **Lo** dari muka hubungan balok-kolom **So**. Spasi **So** tersebut tidak boleh melebihi :

[SNI 2847-2002 Pasal 23.10.4(2)]

- a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
 $S_o \leq 8 \times D \text{ lentur}$
 $150 \text{ mm} \leq 8 \times 19 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$
- b) 24 kali diameter sengkang ikat,
 $S_o \leq 24 \times \varnothing \text{ sengkang}$
 $150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$
- c) $S_o \leq 1/2 b_w$
 $150 \leq 1/2 \cdot 400 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$
- d) $S_o \leq 300 \text{ mm}$
 $150 \leq 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$
Maka, dipakai S_o sebesar $\varnothing 10 - 100 \text{ mm}$.

Panjang **Lo** tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini :

- a) Seperenam tinggi bersih kolom,

$$L_o = \frac{1}{6}(4000 - 450) \text{ mm}$$

$$L_o = 591,67 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

- b) Dimensi terbesar penampang kolom

$$L_o = 400 \text{ mm}$$

- c) $L_o > 500 \text{ mm}$

Maka dipakai L_o sebesar 600 mm.

Sehingga di pasang sengkang sebesar D10 – 150 mm dan sengkang pertama harus dipasang sejarak tidak lebih dari $0,5 \cdot S_o = 0,5 \cdot 150 = 75 \text{ mm}$ dari muka balok kolom.

Spasi sengkang ikat pada sebarang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$.

Maka pada daerah setelah sejarak $L_o = 600 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom tetap di pasang sengkang sebesar D10 – 150 mm.

4.8.3 Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,07 \times f_y \times d_b$, untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.16.1]

$$0,07 \times f_y \times d_b > 300 \text{ mm}$$

$$0,07 \times 400 \times 19 > 300 \text{ mm}$$

$$532 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 550 mm

4.8.4 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.(3), panjang sambungan lewatan untuk tulangan D19 harus di ambil sebesar :

$$L_d = \frac{d_{lentur} \cdot f_y}{4 \cdot \sqrt{f_{c'}}}$$

$$L_d = \frac{19 \cdot 400}{4 \cdot \sqrt{25}}$$

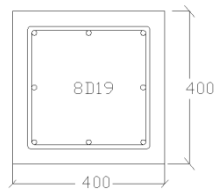
$$L_d = 380 \text{ mm}$$

Tidak boleh kurang dari

$$0,04 \cdot d_{lentur} \cdot f_y = 0,04 \cdot 19 \cdot 400 = 304 \text{ mm}$$

$L_d > 0,04 \cdot d_{lentur} \cdot f_y$ (Memenuhi)

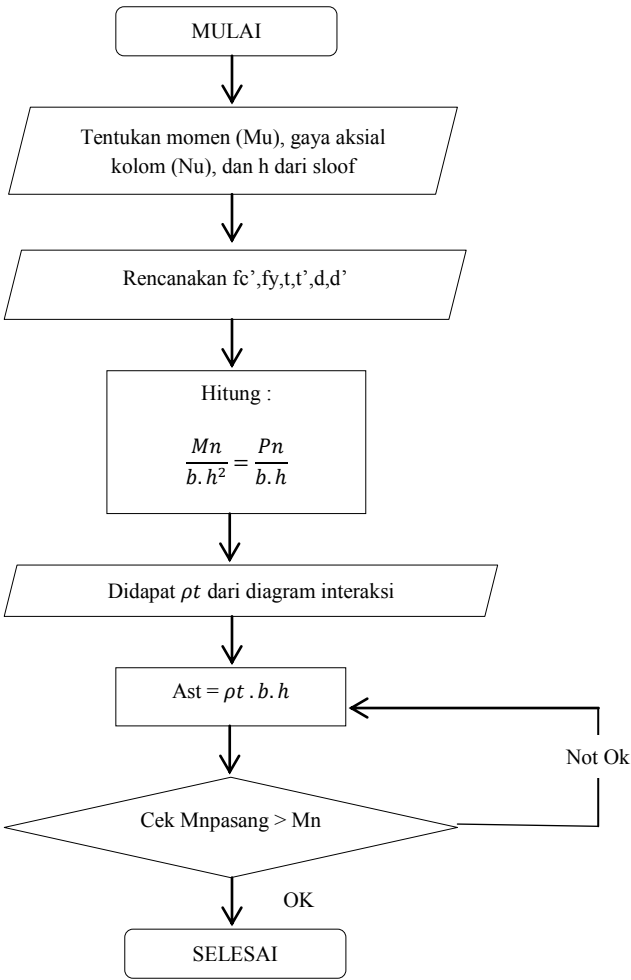
Maka panjang penyaluran tulangan kolom 380 mm



Gambar 4.8 14 Penampang Kolom

4.9 Perhitungan Sloof

Berikut ini diagram alur perhitungan tulangan sloof :



Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75

[SNI-03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) = 0,75

[SNI-03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]

Mutu bahan

Kuat tekan beton (f_c') = 25 MPa

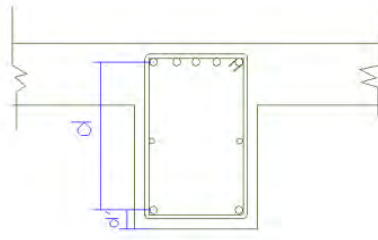
Kuat leleh tulanga lentur (f_y) = 400 Mpa

Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) = 240 Mpa

Tinggi efektif balok

$$\begin{aligned} d &= h - t_{\text{selimut}} - D_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} D_{\text{tul lentur}} \\ &= 450\text{mm} - 75\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} 19\text{ mm} \\ &= 352,5\text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= t_{\text{selimut}} + D_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} D_{\text{tul lentur}} \\ &= 75\text{ mm} + 10\text{mm} + \frac{1}{2} 19\text{ mm} \\ &= 97,5\text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.9 2 Tinggi efektif sloof

Hasil output dan diagram gaya dalam dan analisa SAP 2000 :

- Momen yang terjadi pada sloof

Hasil momen yang didapat berasal dari analisa struktur SAP, dan akan diambil nilai kombinasi terbesar dari kombinasi sebagai berikut :

1. Kombinasi Beban Mati (1,4 D)
54532820 Nmm
2. Kombinasi Beban Mati dan Hidup (1,2D + 1,6L)

46742418 Nmm

3. Kombinasi Beban Gempa (1,2D+1L +1Eqx +0,3Eqy)

46742418 Nmm

Berdasarkan dari ketiga kombinasi diambil momen terbesar yaitu 54532820 Nmm



Gambar 4.9 3 Output SAP dengan Momen terbesar

- Gaya Aksial Kolom

Posisi sloof diapit oleh 2 kolom, maka perlu ditinjau nilai P dari keduanya yang paling maksimum. Didapat dari hasil analisa SAP 2000

Pu dari kolom kiri

$$\begin{aligned}
 P_{\text{kombinasi 1}} &= 1,4 D \\
 &= 1.404.102,06 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 2}} &= 1,2 D + 1,6 L \\
 &= \mathbf{1.615.152,29 \text{ N}} \\
 P_{\text{kombinasi 3}} &= 1,2 D + 1 L + 0,3 E_{qx} + 1 E_{qy} \\
 &= 1.512.363,52 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 4}} &= 1,2 D + 1 L + 1 E_{qx} + 0,3 E_{qy} \\
 &= 1.485.286,88 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka diambil Pmax sebesar 1615152,29 N

Pu dari kolom kanan

$$\begin{aligned}
 P_{\text{kombinasi 1}} &= 1,4 D \\
 &= 1.203.349,28 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 2}} &= 1,2 D + 1,6 L \\
 &= \mathbf{1.279.780,89 \text{ N}} \\
 P_{\text{kombinasi 3}} &= 1,2 D + 1 L + 0,3 E_{qx} + 1 E_{qy} \\
 &= 1.233.498,95 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 4}} &= 1,2 D + 1 L + 1 E_{qx} + 0,3 E_{qy} \\
 &= 1.201.585,75 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan nilai Pmaks antara kolom kiri dan kolom kanan yaitu sebesar 1615152,29 N

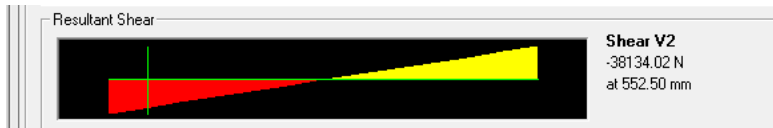


Gambar 4.9 4 Output SAP dengan aksi terbesar

- Gaya Geser

Sloof

Berdasarkan hasil output SAP dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2 D + 1 L dari analisa SAP 2000 didapatkan 38134,02 N (diambil sejarak d pada muka kolom)



Gambar 4.9 5 Diagram Gaya Geser Sloof yang terbesar

4.9.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur

Akibat kombinasi 1,4 D

$$Mu_{max} = 54532820 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{54532820 \text{ N}}{0,8} = 68166025 \text{ Nmm}$$

$$P_{max} = 1615152,29 \text{ N}$$

Sehingga gaya tarik (Pn) yang terjadi pada sloof adalah 10% .

$$P_{max} = 10 \% \cdot 1615152,29 \text{ N} = 161515,229 \text{ N}$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{Mn}{b \cdot h^2} = \frac{68166025}{300 \cdot 450^2} = 1,12 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{Pn}{b \cdot h} = \frac{161515,229}{300 \cdot 450} = 1,19 \text{ N/mm}^2$$

Dari diagram interaksi didapatkan nilai $\rho_{perlu} = 1 \%$

Luasan tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \rho \cdot b \cdot h \\ &= 0,01 \cdot 300 \cdot 450 \\ &= 1350 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$n_{pasang} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan pakai}}}$$

$$n_{pasang} = \frac{1350 \text{ mm}^2}{0,25 \cdot \pi \cdot 25^2} = 2,75 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n_{pasang} \cdot \text{Luasan } D_{lentur} \\ &= 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 1473 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{array}{ll} A_{s \text{ pasang}} & > \quad A_{s \text{ perlu}} \\ 1473 \text{ mm}^2 & > \quad 1350 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{array}$$

Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2 \cdot t_{selimut} - 2 \cdot D_{geser} - jmlh \ D_{lentur}}{jmlh \ tulangan - 1} \\ &= \frac{300 - 2 \cdot 75 - 2 \cdot 10 - 3 \cdot 25}{3 - 1} = 27,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2 \cdot t_{selimut} - 2 \cdot D_{geser} - jmlh \ D_{lentur}}{jmlh \ tulangan - 1} \\ &= \frac{300 - 2 \cdot 75 - 2 \cdot 10 - 3 \cdot 25}{3 - 1} = 27,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Tinggi sloof gaya tekan sloof

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_{s \text{ pasang}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \\ &= \frac{1473 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 92,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 92,4 \\ &= 589048,62 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek nominal penampang

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= C c' \cdot (d - \frac{a}{2}) \\ &= 589048,62 \cdot (352,5 - \frac{92,4}{2}) \\ &= 153211674 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

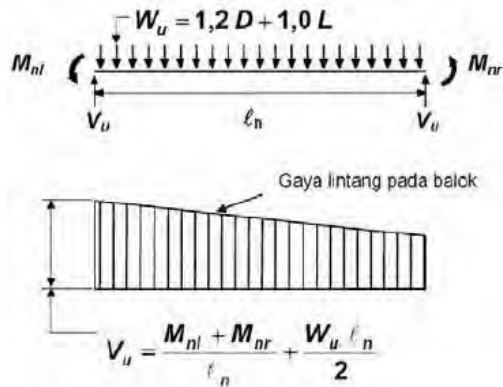
Maka ,

$$\begin{aligned} \emptyset \cdot M_n \text{ pasang} &> M_u \\ 0,8 \cdot 153211674 \text{ Nmm} &> 5453280 \text{ Nmm} \\ 122569339,2 \text{ Nmm} &> 5453280 \text{ Nmm} \quad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, penulangan lentur untuk sloof (30/45) dipakai tulangan tarik 1 lapis 3 D 25 dan tulangan tekan 1 lapis 3 D 25

4.6.2.6 Perhitungan Tulangan Geser

Momen tulangan terpasang



Gambar 4.6 40 Persamaan geser untuk balok SRPMM

Tulangan terpasang 3D 25

$$A_{s \text{ pasang}} = 1473 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1473 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 92,4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{n \text{ kiri}} &= A_{s \text{ pasang}} \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) \\ &= 1473 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot (352,5 - \frac{92,4}{2}) \\ &= 180425656,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Tulangan terpasang 3 D 25

$$\begin{aligned}
 A_s'_{\text{pasang}} &= 1473 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1473 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 92,4 \text{ mm} \\
 M_{n_{\text{kiri}}} &= A_{s_{\text{pasang}}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1473 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \cdot \left(352,5 - \frac{92,4}{2}\right) \\
 &= 180425656,7 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D+1,0L dari analisa SAP 2000 didapatkan (*lihat Gambar 4.9.5*):

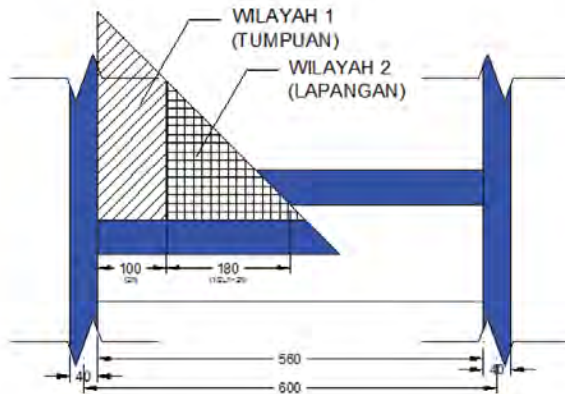
Gaya geser terfaktor $V_u = 38134 \text{ N}$

Dimana V_u diambil tepat pada as kolom

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi 2 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 daerah tumpuan sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom kearah tengah bentang
(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.2)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari jarak wilayah 1 sampai $\frac{1}{2}$ bentang balok



Gambar 4.9 6 Pembagian wilayah geser pada balok

Syarat kuat tekan beton :

Nilai $\sqrt{f_c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $\frac{25}{3}$ Mpa

(SNI 03-2847-2002 pasal 13.1.1(2))

$$\sqrt{f_c} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{25} \leq \frac{25}{3}$$

$$5 \leq 8,33 \quad (\text{memenuhi})$$

Kuat geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 352,5$$

$$V_c = 88125 \text{ N} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.3})$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 352,5$$

$$= 35250 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{3} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 352,5 \\
&= 176250 \text{ N} \\
2 V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d \\
&= \frac{2}{3} \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 352,5 \\
&= 352500 \text{ N}
\end{aligned}$$

Penulangan geser balok

Pada wilayah 1 (daerah tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
Vu1 &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2} \\
&= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + Vu \quad \text{(SNI 03-2847-2002 pasal 13.3)}
\end{aligned}$$

Dimana :

$Vu1$ = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal actual balok daerah tumpuan kiri

M_{nr} = Momen nominal actual balok daerah tumpuan kanan

l_n = Panjang bersih balok

Maka $Vu1$

$$\begin{aligned}
Vu1 &= \frac{180425656,7 + 180425656,7}{5600} + 38134 \\
&= 98276 \text{ N}
\end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser :

1. Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot Vc \quad \text{(Tidak perlu tulangan geser)}$$

$$98276 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 88125 \text{ N}$$

$$98276 \text{ N} \geq 33047 \quad \text{(Tidak Memenuhi)}$$

2. Kondisi 2

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot Vc \leq Vu \leq \emptyset \cdot Vc$$

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 88125 \text{ N} \leq 98276 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 88125 \text{ N}$$

$$333046,875 \text{ N} \leq 98276 \text{ N} \leq 66094 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

3. Kondisi 3

$$\phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{s \min})$$

$$0,75 \cdot 88125N \leq 98276 N \leq 0,75 \cdot (88125N + 35250)$$

$$66093,75N \leq 98276 N \leq 92531,25 N$$

(Tidak memenuhi)

4. Kondisi 4

$$\phi \cdot (V_c + V_{s \min}) \leq V_u \leq \phi^* (V_c + V_{s \max})$$

$$0,75 \cdot (88125N + 35250 N) \leq 98276N \leq$$

$$0,75 \cdot (88125N + 176250N)$$

$$92531,25 N \leq 98276N \leq 198281,25 N$$

(memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan *Kondisi 4*

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{98276 - 0,75 \cdot 88125N}{0,75}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = 42909,54 N$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki , maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \pi \cdot d^2 \cdot n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \pi \cdot 10^2 \cdot 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot V_{s \text{ perlu}}}{f_y \cdot d} \\ &= \frac{157,08 \cdot 42909,54}{240 \cdot 352,5} \\ &= 79,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan berdasarkan *Kondisi 4*

$$S_{\max} \leq \frac{d}{2}$$

$$79,67 \text{ mm} \leq \frac{390,5}{2}$$

$$79,67 \text{ mm} \leq 195,3 \quad \text{(memenuhi)}$$

$$S_{\max} \leq 600\text{mm}$$

$$79,67 \text{ mm} \leq 600\text{mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10- 85

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.104.2 pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50mm dari muka perletakan .

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $S = \frac{d}{4}$
- $S = 8 \cdot D_{\text{tul.utama}}$
- $S = 24 \cdot D_{\text{tul.sengkang}}$
- 300 mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.(2))

- $S_{\text{pakai}} \leq \frac{d}{4}$
85mm \leq 88,13 mm **(memenuhi)**
- $S_{\text{pakai}} \leq 8 \cdot D_{\text{tul.utama}}$
85 mm \leq 200mm **(memenuhi)**
- $S_{\text{pakai}} \leq 24 \cdot D_{\text{tul.sengkang}}$
85mm \leq 240 mm **(memenuhi)**
- $S_{\text{pakai}} \leq 300$
85mm \leq 300 **(memenuhi)**

Jadi penulangan geser balok untuk balok BS (30/45) pada wilayah 1 (daerah tumpuan) dipasang D10-85mm dengan sengkang 2 kaki .

Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan , dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \cdot (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{98276 \cdot (\frac{1}{2}6000 - 2.450)}{\frac{1}{2}6000}$$

$$Vu2 = 68793,133 \text{ N}$$

Cek Kondisi Geser :

1. Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot Vc \quad (\text{Tidak perlu tulangan geser})$$

$$68793,133 \text{ N} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 88125 \text{ N}$$

$$68793,133 \text{ N} \geq 33047 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

2. Kondisi 2

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot Vc \leq Vu \leq \emptyset \cdot Vc$$

$$0,5 \cdot 0,75 \cdot 88125 \text{ N} \leq 68793,133 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 88125 \text{ N}$$

$$33047 \text{ N} \leq 68793,133 \text{ N} \leq 66094 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

3. Kondisi 3

$$\emptyset \cdot Vc \leq Vu \leq \emptyset \cdot (Vc + Vs \text{ min})$$

$$0,75 \cdot 88125 \text{ N} \leq 68793,133 \text{ N} \leq 0,75 \cdot (88125 \text{ N} + 35250)$$

$$66094 \text{ N} \leq 68793,13 \text{ N} \leq 92531,25 \text{ N}$$

(memenuhi)

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10mm dengan 2 kaki ,
maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 A_v &= 0,25 \pi \cdot d^2 \cdot n_{kaki} \\
 &= 0,25 \pi \cdot 10^2 \cdot 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v_{perlu}} &= A_v + \frac{A_t}{s} \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2 + 0,21 \text{ mm}^2 \\
 &= 157,29 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{perlu} &= \frac{b_w \cdot A_v}{3 \cdot f_y} \\
 &= \frac{300 \cdot 157,29}{3 \cdot 240} \\
 &= 65,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan berdasarkan *Kondisi 3*

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &\leq \frac{d}{2} \\
 65,54 \text{ mm} &\leq \frac{390,5}{2} \\
 65,54 \text{ mm} &\leq 195,3 \quad \text{(memenuhi)} \\
 S_{\max} &\leq 600 \text{ mm} \\
 65,54 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-85

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.104.2 pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50mm dari muka perletakan .

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $S = \frac{d}{4}$
- $S = 8 \cdot D_{tul.utama}$
- $S = 24 \cdot D_{tul.sengkang}$
- 300 mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.(2))

➤	$S_{\text{pakai}} \leq \frac{d}{4}$	
	85mm \leq 88,13 mm	(memenuhi)
➤	$S_{\text{pakai}} \leq 8 \cdot D_{\text{tul.utama}}$	
	85 mm \leq 200mm	(memenuhi)
➤	$S_{\text{pakai}} \leq 24 \cdot D_{\text{tul.senggang}}$	
	85mm \leq 240 mm	(memenuhi)
➤	$S_{\text{pakai}} \leq 300$	
	85mm \leq 300	(memenuhi)

Jadi penulangan geser balok untuk balok BS-1 (30/45) pada wilayah 2 (daerah lapangan dipasang D10-95mm dengan senggang 2 kaki .

4.9.2 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap panampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 pasal 14.***

▪ Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 pasal 14.2***

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.2.1)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 tabel 11 pasal 14.2*** sebagai berikut

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut beton bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang ℓ_d tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f'_c}}$

Gambar 4.9 7 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

Dimana ;

ℓ_d = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai

α = faktor lokasi penulangan

β = faktor pelapis

Untuk α dan β menggunakan ketentuan pada ***SNI 03-2847-2002 tabel 11 pasal 14.4*** Gambar 4.6.14 dibawah ini :

α = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
β = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

Gambar 4.9 8 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

λ = faktor beton agregat ringan

λ = faktor beton agregat ringan	
Apabila digunakan beton agregat ringan	1,3
Walaupun demikian, apabila f_{cr} disyaratkan, maka λ boleh diambil sebesar $\sqrt{f'_c} / (1,8f_{cr})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Apabila digunakan beton berat normal	1,0

Gambar 4.9 9 Faktor Beton agregat Ringan

SNI 03-2847-2002 tabel 11 pasal 14.4

$$\frac{ld}{db} = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \cdot \sqrt{f'_c}} \geq 300mm$$

$$ld = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda \cdot db}{25 \cdot \sqrt{f'_c}} \geq 300mm$$

$$ld = \frac{12 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,19}{25 \cdot \sqrt{25}} \geq 300mm$$

$$ld = 1094,4mm \geq 300mm$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$\begin{aligned} \lambda_{reduksi} &= \frac{A_{spertu}}{A_{spasang}} \cdot \lambda d \\ &= \frac{1350}{1473} \cdot 1094,4 \\ &= 1003 \text{ mm} \approx 1100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1100 mm

▪ Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI-03-2847-2002 pasal 14.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.5.1)

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 pasal 14.5.2 panjang penyaluran dasar untuk batang tulangan tarik pada penampang tepi atau yang berakhir dengan kaitan dengan f_y sama dengan 400 MPa adalah :

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot db}{\sqrt{f_c}} \geq 8 \cdot db$$

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot 25}{\sqrt{25}} \geq 8.25$$

$$l_{hb} = 500 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Reduksi Panjang Penyaluran (tulangan lebih)

$$\begin{aligned} l_{direduksi} &= \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{pasang}}} l_{hb} \\ &= \frac{1350}{1473} \cdot 500 \\ &= 458,2 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 500mm

- Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan
 Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.3
 Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.3.1)

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.3.2. panjang penyaluran diambil sebesar :

$$ldb = \frac{db \cdot f_y}{4\sqrt{f_c'}} \geq 0,04 \cdot db \cdot f_y$$

$$ldb = \frac{25 \cdot 400}{4\sqrt{25}} \geq 0,04 \cdot 25 \cdot 400$$

$$ldb = 500 \text{ mm} \geq 400 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$l_{direduksi} = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{pasang}}} \cdot ldb$$

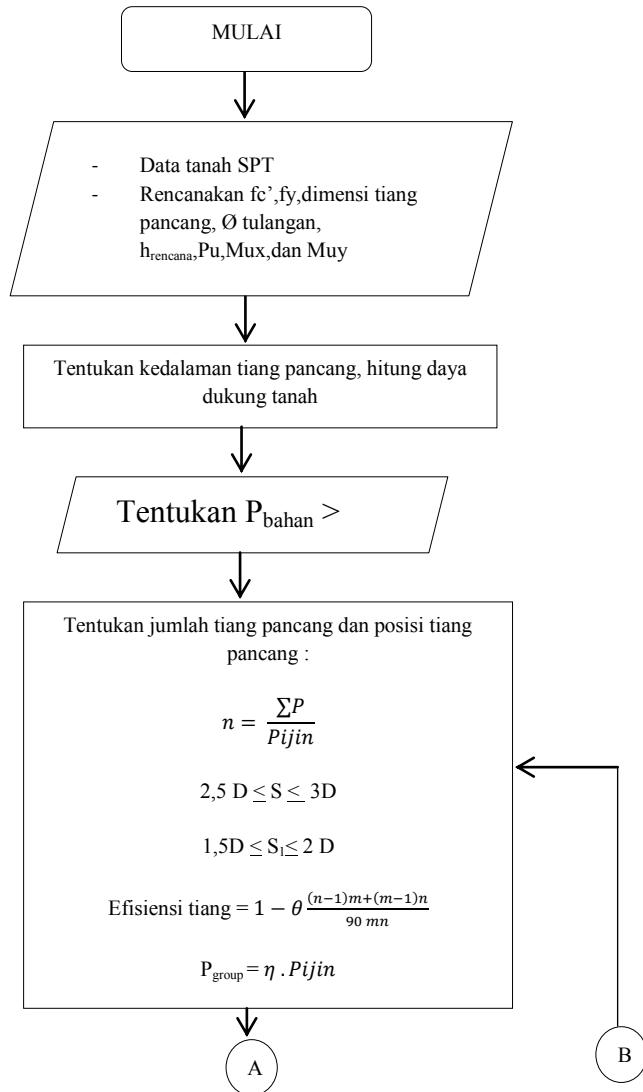
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1350}{1473} \cdot 500 \\
 &= 458,2 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

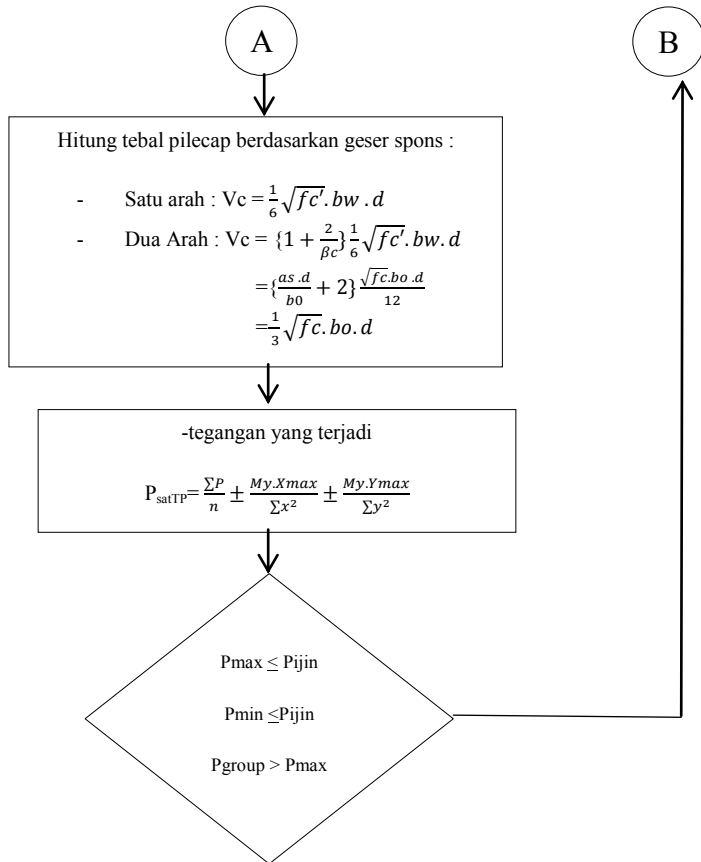
Untuk pembengkokan tulangan dengan sudut 90° maka ditambah perpanjangan 12_{db} pada ujung bebas berkait

(SNI 03-2847-2002 pasal 9.1)

$$12 \cdot db = 12 \cdot 25 = 300 \text{ mm}$$

4.10 Perhitungan Pondasi Tiang Pancang dan Poer





Classification

Outside Diameter D (mm)	Wall Thickness T (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (kg/m)	Length L (m)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.53
		C				4.00	8.00	65.40

Gambar 4.10 1 Klasifikasi tiang pancang PT Wijaya Karya Beton

c. Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang

Diketahui output SAP 2000

- Akibat beban tetap (1,0D+1,0L)
P = 138068,91 Kg
- Akibat Beban Sementara (1,0D + 1,0L+1,0Eqx+0,3Eqy)
P = 140567,03 Kg
- Akibat beban sementara (1,0D+1,0L+0,3Eqx+1,0Eqy)
P = 143328,08 Kg

Maka diambil $P_{max} = 143328,08 \text{ Kg} = 143,3 \text{ ton}$

d. Perencanaan Dimensi Poer Tipe 1

- Perhitungan beban pondasi sebelum ditambahkan berat sendiri poer

$$n = \frac{P_{ijin \text{ max}}}{P_{ijin \text{ tanah}}} = \frac{143,3 \text{ ton}}{53,47 \text{ ton}} = 2,683 \approx 4 \text{ buah}$$

Maka direncanakan tiang pancang sebanyak 4 buah

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam menghitung jarak antara tiang pancang (S) menurut buku menghitung buku karangan **Karl Terzagi dan Ralph B. Peck** dalam bukunya **Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2** menyebutkan bahwa :

Perhitungan jarak antara tiang pancang (s) :

$$\begin{array}{rclcl}
 2,5 D & \leq & s & \leq & 3D \\
 2,5 \cdot 30 \text{ cm} & \leq & s & \leq & 3 \cdot 30 \text{ cm} \\
 75 \text{ cm} & \leq & s & \leq & 90 \text{ cm} \\
 \text{Dipakai } s & = & 75 \text{ cm} = 0,75 \text{ m} \\
 \text{Arah } x & = & 75 \text{ cm} = 0,75 \text{ m} \\
 \text{Arah } y & = & 75 \text{ cm} = 0,75 \text{ m}
 \end{array}$$

Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi poer (s')

$$\begin{array}{rclcl}
 1,5 D & \leq & s' & \leq & 2D \\
 1,5 \cdot 30 \text{ cm} & \leq & s' & \leq & 2 \cdot 30 \text{ cm} \\
 45 \text{ cm} & \leq & s' & \leq & 60 \text{ cm} \\
 \text{Dipakai } s' = 5 \text{ cm} & = & 0,45 \text{ m}
 \end{array}$$

Dapat disimpulkan ukuran panjang dan lebar poer yaitu :

- Periksa ulang kebutuhan tiang pancang setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan tebal poer diasumsikan 400 mm

$$\begin{array}{rcl}
 P_{\max} & = & 143328,08 \text{ Kg} \\
 \text{Berat Poer} & = & (1,65 \text{ m} \cdot 1,65 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3) \\
 & = & 2613,6 \text{ kg}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \Sigma P & = & 145941,68 \text{ kg} \\
 n & = & \frac{\Sigma P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{145,9 \text{ ton}}{53,47 \text{ ton}} = 2,72 \approx 4 \text{ buah}
 \end{array}$$

Setelah ditambahkan berat sendiri poer dan tanah dengan dimensi (1650 x 1650) cm tetap dibutuhkan 4 buah tiang pancang

e. Perhitungan Daya Dukung Poer berdasarkan efisiensi dari buku “ANALISA DAN DESAIN PONDASI” Jilid 2 karya Joseph E Bowles halaman 379, perhitungan daya dukung poer berdasarkan efisiensi adalah sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1).n}{90.m.n}$$

Dimana :

- m = banyaknya tiang dalam 1 baris
- n = banyaknya baris
- θ = arc tg D/s
- D = diameter tiang pancang
- s = jarak antar As tiang pancang

$$\eta = 1 - \theta \frac{(n-1).m + (m-1).n}{90.m.n}$$

$$\eta = 1 - \theta \frac{(2-1).2 + (2-1).2}{90.2.2}$$

$$\eta = 0,758$$

$$\begin{aligned} P_{\text{ijin tanah}} &= 0,758 \cdot \text{Pijin tanah} \\ &= 0,758 \cdot 53,47 \text{ ton} \\ &= 40,52 \text{ ton} = 40515,40 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ll} \text{Pijin tanah} & < \quad \text{Pijin bahan} \\ 40,52 \text{ ton} & < \quad 72,6 \text{ ton} \end{array}$$

Maka P ijin = 40,52 ton

f. Perhitungan Daya Dukung Tiang Dalam Kelompok

Dari output SAP 2000 ditinjau joint 51 dan didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut :

- Akibat beban tetap (1D+1L)
 - P = 138068,91 Kg
 - Mx = 3506,313 Kg
 - My = -2799,453 Kg
- Akibat Beban Sementara(1D+1L+1Eqx+0,3Eqy)
 - P = 140567,03 Kg

$$M_x = 4310,653 \quad \text{Kg}$$

$$M_y = -5093,049 \quad \text{Kg}$$

- Akibat Beban Sementara (1D+1L+0,3Eqx+1E_y)

$$P = 143328,08 \quad \text{Kg}$$

$$M_x = 5513,215 \quad \text{Kg}$$

$$M_y = -3563,839 \quad \text{Kg}$$

- ✓ P akibat Beban Tetap (1,0 D + 1,0 L)

$$P = 138068,91 \quad \text{Kg}$$

$$M_x = 3506,313 \quad \text{Kg}$$

$$M_y = -2799,453 \quad \text{Kg}$$

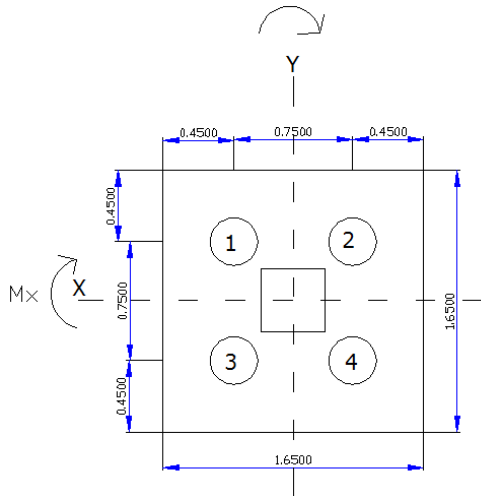
Periksa ulang kebutuhan tiang pancang, Diasumsikan tebal poer = 400 mm.

$$\text{BS Poer} = 2613,6 \quad \text{kg}$$

$$P_{\text{max}} = \underline{138068,91 \quad \text{kg}} +$$

$$\Sigma P = 140734,782 \quad \text{kg}$$

$$n = \frac{\Sigma P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{140734,782 \text{ kg}}{40515,40 \text{ kg}} = 3,47 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$



Gambar 4.10 2 Penampang Poer akibat beban tetap

	x (m)	x ²		y (m)	y ²
X1	0.375	0.141	Y1	0.375	0.141
X2	0.375	0.141	Y2	0.375	0.141
X3	0.375	0.141	Y3	0.375	0.141
X4	0.375	0.141	Y4	0.375	0.141
Σ		0.563	Σ		0.563

$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{140734,782}{4} + \frac{(-2799,453) \cdot 0,375}{0,563} - \frac{3506,313 \cdot 0,375}{0,563} \\
 &= 30979,852 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{140734,782}{4} - \frac{(-2799,453) \cdot 0,375}{0,563} + \frac{3506,313 \cdot 0,375}{0,563} \\
 &= 39387,540 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$P3 = \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2}$$

$$= \frac{140734,782}{4} - \frac{(-2799,453) \cdot 0,375}{0,563} + \frac{3506,313 \cdot 0,375}{0,563}$$

$$= 39387,540 \text{ kg}$$

$$P_4 = \frac{\sum P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2}$$

$$= \frac{140734,782}{4} + \frac{(-2799,453) \cdot 0,375}{0,563} - \frac{3506,313 \cdot 0,375}{0,563}$$

$$= 30979,852 \text{ kg}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang adalah 39387,540 kg = 39,3 ton

$$\begin{array}{llll} P_{\max} & = 39,3 \text{ ton} & \leq & \eta \cdot P_{\text{ijin tanah}} \\ P_{\max} & = 39,3 \text{ ton} & \leq & 40,51 \text{ ton} \quad \textbf{(memenuhi)} \end{array}$$

- ✓ P akibat beban sementara (1D+1L+1Eqx+0,3Eqy)
Berdasarkan PPIUG pasal 1.2 (2) untuk tanah dengan kondisi lunak daya dukung tiang diizinkan dapat dinaikan sampai 50%

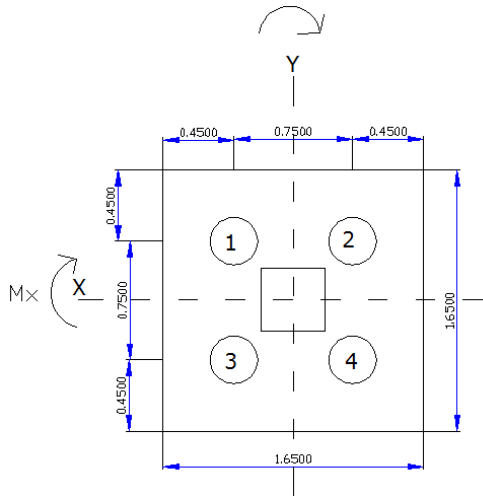
$$\begin{aligned} P_{\text{ijin setelah dinaikan 50\%}} &= P_{\text{ijin tanah}} \cdot 1,5 \\ &= 0,758 \cdot 53,47 \text{ ton} \cdot 1,5 \\ &= 52,67 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} P & = 140567,03 \quad \text{Kg} \\ M_x & = 4310,653 \quad \text{Kg} \\ M_y & = -5093,049 \quad \text{Kg} \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri poer} &= 2665,872 \text{ kg} \\ P_{\max} &= 140567,03 \text{ kg} \quad + \end{aligned}$$

$$\sum P = 1 \, 3232,9 \, 02 \text{ kg}$$

$$n = \frac{\sum P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{143232,902 \text{ kg}}{60773,10 \text{ kg}} = 2,35 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$



Gambar 4.10 4 Penampang poer akibat beban sementara

	x (m)	x²		y (m)	y²
X1	0.375	0.141	Y1	0.375	0.141
X2	0.375	0.141	Y2	0.375	0.141
X3	0.375	0.141	Y3	0.375	0.141
X4	0.375	0.141	Y4	0.375	0.141
Σ		0.563	Σ		0.563

$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \cdot X}{\Sigma x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{140567,03}{4} + \frac{(4310,653) \cdot 0,375}{0,563} - \frac{(-5093,049) \cdot 0,375}{0,563}
 \end{aligned}$$

$$= 29539,091 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \cdot X}{\Sigma x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{140567,03}{4} - \frac{(4310,653) \cdot 0,375}{0,563} + \frac{(-5093,049) \cdot 0,375}{0,563}
 \end{aligned}$$

$$= 42077,360 \text{ kg}$$

$$P3 = \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \cdot X}{\Sigma x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{140567,03}{4} - \frac{(4310,653) \cdot 0,375}{0,563} + \frac{(-5093,049) \cdot 0,375}{0,563} \\
 &= 42077,360 \text{ kg} \\
 P_4 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{140567,03}{4} + \frac{(4310,653) \cdot 0,375}{0,563} - \frac{(-5093,049) \cdot 0,375}{0,563} \\
 &= 29539,091 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 42077,36 kg

$$\begin{array}{ll}
 P_{\max} & \leq P_{\text{ijin tanah yang dinaikan}} \\
 42077,36 \text{ kg} & \leq 60773,10 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})
 \end{array}$$

- ✓ P akibat beban sementara (1D+1L+0,3Eqx+1Eqy)
 Berdasarkan PPIUG pasal 1.2 (2) untuk tanah dengan kondisi lunak daya dukung tiang diizinkan dapat dinaikan sampai 50%

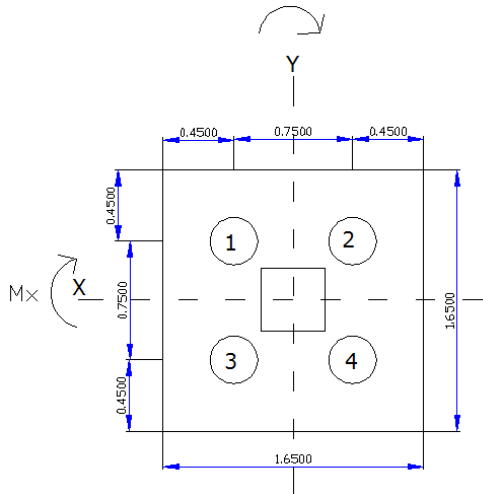
$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin setelah dinaikan 50\%}} &= P_{\text{ijin tanah}} \cdot 1,5 \\
 &= 0,758 \cdot 53,47 \text{ ton} \cdot 1,5 \\
 &= 60,77 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll}
 P &= 143328,08 \quad \text{Kg} \\
 M_x &= 5513,215 \quad \text{Kg} \\
 M_y &= -3563,839 \quad \text{Kg}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri poer} &= 2665,872 \text{ kg} \\
 P_{\max} &= 143328,08 \text{ kg} \quad +
 \end{aligned}$$

$$\sum P = 15993,952 \text{ kg}$$

$$n = \frac{\sum P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{145993,952 \text{ kg}}{60773,1 \text{ kg}} = 2,40 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$



Gambar 4.10 5 Penampang poer akibat beban sementara

	x (m)	x ²		y (m)	y ²
X1	0.375	0.141	Y1	0.375	0.141
X2	0.375	0.141	Y2	0.375	0.141
X3	0.375	0.141	Y3	0.375	0.141
X4	0.375	0.141	Y4	0.375	0.141
Σ		0.563	Σ		0.563

$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{145993,952}{4} + \frac{(5513,215) \cdot 0,375}{0,563} - \frac{(-3563,839) \cdot 0,375}{0,563} \\
 &= 30447,119 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{145993,952}{4} - \frac{(5513,215) \cdot 0,375}{0,563} + \frac{(-3563,839) \cdot 0,375}{0,563} \\
 &= 42549,857 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$P3 = \frac{\sum P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{145993,952}{4} - \frac{(5513,215) \cdot 0,375}{0,563} + \frac{(-3563,839) \cdot 0,375}{0,563} \\
 &= 42549,857 \text{ kg} \\
 P_4 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{145993,952}{4} + \frac{(5513,215) \cdot 0,375}{0,563} - \frac{(-3563,839) \cdot 0,375}{0,563} \\
 &= 30447,119 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 42549,857 kg

$$\begin{array}{ll}
 P_{\max} & \leq P_{\text{ijin tanah yang dinaikan}} \\
 42549,857 \text{ kg} & \leq 60773,10 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})
 \end{array}$$

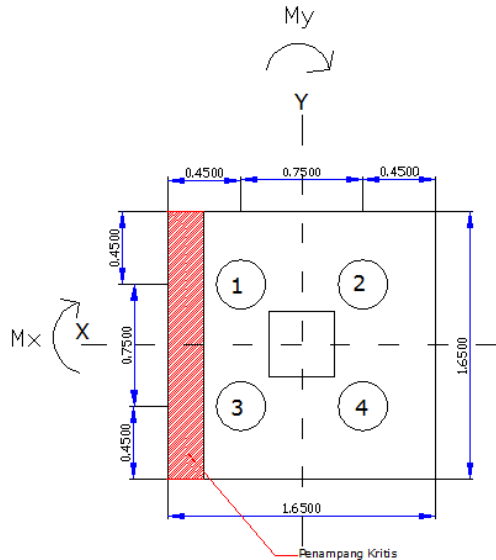
g. Perhitungan Tebal Poer

Menghitung d (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah . Diambil nilai d terbesar diantara keduanya .

Dalam perencanaannya tebal poer harus memenuhi syarat, yaitu kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi, dimana V_{ult} adalah senilai dengan P_u , hal ini terjadi Karen apondasi yang digunakan adalah tiang pancang dan geser pons terjadi di poer, bukan pada pondasi. Maka V_c diambil dari perhitungan berikut .

Diketahui P_u max dari output SAP adalah :

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad P_u &= \frac{P_{\text{ijin total}}}{\text{Luasan Poer}} = \frac{143328,08 \text{ Kg}}{1650 \text{ cm} \cdot 1650 \text{ cm}} = 5,265 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 0,526 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4.10 6 Bidang Kritis Pons Satu Arah

h. Perhitungan Geser Satu Arah pada Poer Akibat Kolom

$$\begin{aligned}
 L' &= \left(\frac{1}{2} \times B \right) - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar kolom} \right) - d \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 1650 \right) - \left(\frac{1}{2} \times 400 \right) - d \\
 &= 825 - 200 - d \\
 &= 625 - d
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_u \times b_w \times L' \\
 &= 0,52 \cdot 1650 \cdot (625-d) \\
 &= 858 \cdot (625-d) \\
 &= 536250 - 858d
 \end{aligned}$$

Gaya Geser yang mampu dipikul oleh beton V_c

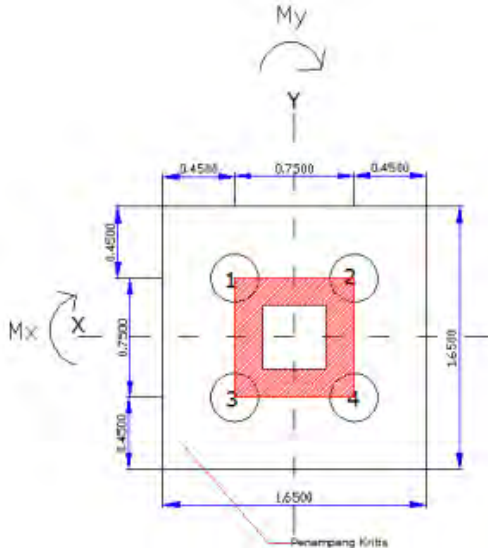
$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.8.6})$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi \cdot V_c$$

$$\begin{aligned}
 536250-858d &\leq 0,75 \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 1650 \cdot d \\
 536250-858d &\leq 1031,25 \cdot d \\
 -1889,25 d &\leq 536250 \\
 d &\geq 283,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

i . Perhitungan Geser Dua Arah Pada Poer



Gambar 4.10 7 Bidang kritis pons dua arah

Berdasarkan **SNI 03-2847-2002, pasal 13,12.(2) poin a, b , dan c**, untuk perencanaan pelat atau pondasi telapak aksi dua arah dan untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil .

$$\text{Pers.1 } V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = \frac{400}{400} = 1$$

b_o = keliling dari penampang kritis

$$\begin{aligned}
 &= 2 \cdot (400+400) + 4d \\
 &= 1600 + 4d
 \end{aligned}$$

Pers.2 $V_c = \left(\frac{\alpha s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \frac{\sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d}{12}$

Dimana :

$\alpha s = 40$ (kolom dalam)

Pers. 3 $V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$

Luas Tributari Area (At)

$$\begin{aligned}
 At &= (L_{poer} \times B_{poer}) - ((L_{kolom} + d) \times (B_{kolom} + d)) \\
 &= (1650 \cdot 1650) - ((400 + d) \cdot (400 + d)) \\
 &= 2722500 - (160000 + 800d + d^2) \\
 &= 2562500 - 800d - d^2
 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser (Vu)

$$\begin{aligned}
 V_u &= q_t \times At \\
 &= 0,52 \times (2562500 - 800d - d^2) \\
 &= 1349047,5 - 421,2d - 0,52d^2
 \end{aligned}$$

Persamaan 1

$$\begin{aligned}
 - V_c &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \\
 &= \left(1 + \frac{2}{1} \right) \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot (1600 + 4d) \cdot d \\
 &= \left(1 + \frac{2}{1} \right) \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot (1600 + 4d) \cdot d \\
 &= 4000d + 10d^2
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_c \geq V_u$$

$$\begin{aligned}
 4000d + 10d^2 &\geq 1349047,5 - 421,2d - 0,52d^2 \\
 4421,2d + 10,52d^2 &\geq 1349047,5 \\
 10,52d^2 + 4421,2d - 1349047,5 &\geq 0 \\
 d^2 + 420,26d - 128236,45 &\geq 0
 \end{aligned}$$

$$d_{12} \geq \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_{12} \geq \frac{-420,26 \pm \sqrt{420,26^2 - 4 \cdot 1 \cdot -128236,45}}{2 \cdot 1}$$

$$d_1 \geq 205,07 \text{ mm}$$

$$d_2 \geq -210,13 \text{ mm}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah :

$$d_1 \geq \mathbf{205,07 \text{ mm}}$$

Persamaan 2

$$\begin{aligned} - V_c &= \left(\frac{\alpha s \cdot d}{bo} + 2 \right) \frac{\sqrt{f_c \cdot bo \cdot d}}{12} \\ &= \left(\frac{40 \cdot d}{1600 + 4d} + 2 \right) \frac{\sqrt{25 \cdot (1600 + 4d) \cdot d}}{12} \\ &= \left(\frac{40d + 8d + 3200}{1600 + 4d} \right) \frac{\sqrt{25 \cdot (1600 + 4d) \cdot d}}{12} \\ &= (40d + 8d + 3200) \frac{5d}{12} \\ &= (40d + 8d + 3200) \times 0,417 d \\ &= 16,68 d^2 + 3,336d^2 + 1334,4 d \\ &= 20,016 d^2 + 1334,4 d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } V_c &\geq V_u \\ 20,016 d^2 + 1334,4 d &\geq 1349047,5 - 421,2 d - 0,52 d^2 \\ 20,536 d^2 + 1755,6 d - 1349047,5 &\geq 0 \\ d^2 + 85,48 d - 65691,83 &\geq 0 \end{aligned}$$

$$d_{12} \geq \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_{12} \geq \frac{-85,48 \pm \sqrt{85,48^2 - 4 \cdot 1 \cdot -65691,83}}{2 \cdot 1}$$

$$d_1 \geq 227,44 \text{ mm}$$

$$d_2 \geq -42,74 \text{ mm}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah :

$$d_2 \geq \mathbf{227,44 \text{ mm}}$$

Persamaan 3

$$\begin{aligned}
 - V_c &= \frac{1}{3} \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d \\
 &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{25} \cdot (1600 + 4d) \cdot d \\
 &= \frac{5}{3} \cdot (1600 + 4d) \cdot d \\
 &= 1,667 d (1600 + 4d) \\
 &= 2667,2 d + 6,668 d^2
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{array}{rcl}
 V_c & \geq & V_u \\
 (2667,2 d + 6,668 d^2) & \geq & 1349047,5 - 421,2 d - 0,52 d^2 \\
 (3088,4 d + 7,188 d^2 - 1349047,5) & \geq & 0 \\
 (7,188 d^2 + 3088,4 d - 1349047,5) & \geq & 0 \\
 d^2 + 429,66 d - 187680,5 & \geq & 0
 \end{array}$$

$$d_{12} \geq \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_{12} \geq \frac{-429,66 \pm \sqrt{429,66^2 - 4 \cdot 1 \cdot -187680,5}}{2 \cdot 1}$$

$$d_1 \geq 395,32 \text{ mm}$$

$$d_2 \geq -214,83 \text{ mm}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah :

$$d_1 \geq \mathbf{395,32 \text{ mm}}$$

Dipakai d yang terbesar = 395,32 mm

Dipakai h = tebal selimut + Dpoer + $\frac{1}{2}$ tul Poer +
drenc

$$= 75 \text{ mm} + 19 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} +$$

395,32 mm

$$= 498,82 \text{ mm}$$

j. Cek Terhadap Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Panjang penyaluran dasar minimum untuk batang ulir yang berada dalam keadaan tekan adalah $\frac{d_b \cdot f_y}{(4 \cdot \sqrt{f_c})}$ tetapi tidak kurang dari 0,04 db.

f_y

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.16.1)

$$\frac{db \cdot fy}{4 \cdot \sqrt{fc}} \geq 0,04 \cdot db \cdot fy$$

$$\frac{19 \cdot 400}{4 \cdot \sqrt{25}} \geq 0,04 \cdot 19 \cdot 400$$

$$380 \text{ mm} \geq 304 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Berdasarkan hasil itungan tebal poer diambil d terbesar , yaitu d \geq 395,32 mm dan berdasarkan perhitungan panjang penyaluran tulangan dibutuhkan 380 mm , jadi dipakai tebal poer (h) = 500mm

4.10.1.2 Perencanaan Tulangan Lentur Poer

a. Data Perencanaan

Dimensi poer	= 1,65 m x 1,65 m x 0,5 m
Jumlah tiang pancang	= 4 buah
Dimensi kolom	= 40cm x 40 cm
Mutu beton (fc')	= 30 Mpa
Mutu baja (fy)	= 400 Mpa
Diameter tul.utama	= 19 mm
Selimut beton	= 75 mm
h	= 500 mm
ϕ	= 0,8
dx = 500-75-($\frac{1}{2}$.19)	= 415,5 mm
dy = 500-75-19-($\frac{1}{2}$.19)	= 396,5 mm

▪ Penulangan Poer Arah X

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :

$$qu = 1,65\text{m} \times 0,5 \text{ m} \times 2400\text{kg/m}^3$$

$$= 1980 \text{ kg/m}$$

$$Qu = qu \times (0,45+0,175)$$

$$= 1980 \text{ kg/m} \times (0,45+0,175)\text{m}$$

$$= 1237,5 \text{ kg}$$

P max akibat beban sementara (1D+1L+1Eqx)

$$P \text{ max} = 42077,360 \text{ kg} = 42,08 \text{ ton}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned}
 Mu &= M_q - M_p \\
 &= (Q_u \times \frac{1}{2} b_1) - (P \times \text{jarak As tiang ke tepi kolom}) \\
 &= (1237,5 \cdot 0,5 \cdot (0,45+0,175)) - (42077,360 \text{ kg} \cdot 0,175\text{m}) \\
 &= -6976,819 \text{ kgm} \\
 &= -69768192,79 \text{ Nmm} \\
 &= 69768192,79 \text{ Nmm} \text{ (ambil nilai mutlak)}
 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{69768192,79}{0,8} = 87210240,99 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d x^2} = \frac{87210240,99}{1650 \cdot 415,5} = 0,31$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,31}{400}} \right) \\
 &= 0,0008
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{balance} &= \frac{0,85 \cdot f_{c'} \cdot \beta}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,027
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,004$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\
 &= 0,75 \times 0,027 \\
 &= 0,02
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } \rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{max}$$

$$0,004 \geq 0,0008 \leq 0,02 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Sesuai SNI-03-2847-2002 pasal 12.5 (3) sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan massif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan .

Maka , ρ pakai = 1,3 . ρ perlu

$$= 1,3 \cdot 0,0008.$$

$$= 0,001 \quad , \text{ maka pakai } \rho \text{ min} = 0,004$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d x \\ &= 0,004 \times 1650 \times 415,5 \\ &= 2400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan $\longrightarrow S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2 \times 500 \text{ mm} = 1000 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan Ø 19

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1650}{2400} = 195 \text{ mm} \leq 1000 \text{ mm (Ok)}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ cm}$$

Tulangan yang dipakai **Ø19-150**

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1650}{150} = 3119 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$3119 \text{ mm}^2 > 2400 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

▪ Penulangan Poer Arah Y

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :

$$q_u = 1,65 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 &= 1603,8 \text{ kg/m} \\
 \text{Qu} &= \text{qu} \times (0,45+0,175) \\
 &= 1603,8 \text{ kg/m} \times (0,45+0,175)\text{m} \\
 &= 1002,375 \text{ kg} \\
 \text{P max akibat beban sementara (1D+1L+1Eqy)} \\
 \text{P max} &= 42549,857 \text{ kg} = 42,55 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Mu} &= \text{Mq} - \text{Mp} \\
 &= (\text{Qu} \times \frac{1}{2} b l) - (\text{P} \times \text{jarak As tiang ke tepi kolom}) \\
 &= (1002,375 \cdot 0,5 \cdot (0,45+0,175)) - (42549,857 \text{ kg} \cdot 0,175\text{m}) \\
 &= -7132,982846 \text{ kgm} \\
 &= -71329828,46 \text{ Nmm} \\
 &= 71329828,46 \text{ Nmm} \text{ (ambil nilai mutlak)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mn} = \frac{\text{Mu}}{\phi} = \frac{71329828,46}{0,8} = 89162285,57 \text{ Nmm}$$

$$\text{Rn} = \frac{\text{Mn}}{b \cdot d y^2} = \frac{89162285,57}{1650 \cdot 396,5} = 0,34$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot \text{Rn}}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,34}{400}} \right) \\
 &= 0,0009
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{balance} &= \frac{0,85 \cdot f_{c'} \cdot \beta}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,027
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,004 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,027 \\ &= 0,02\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat : } \rho_{\min} &\leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max} \\ 0,004 &\geq 0,0009 \leq 0,02 \quad (\text{tidak memenuhi})\end{aligned}$$

Sesuai SNI-03-2847-2002 pasal 12.5 (3) sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan massif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan .

$$\begin{aligned}\text{Maka , } \rho_{\text{pakai}} &= 1,3 \cdot \rho_{\text{perlu}} \\ &= 1,3 \cdot 0,0009 \\ &= 0,001 \quad , \text{ maka pakai } \rho_{\min} = 0,004\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d_y \\ &= 0,004 \times 1650 \times 396,5 \\ &= 2290 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat spasi antar tulangan} &\longrightarrow S_{\max} \leq 2h \\ S_{\max} &= 2 \times 500 \text{ mm} = 1000 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan Ø 19

$$\begin{aligned}S &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s} \\ S &= \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1650}{2290} = 204,3 \text{ mm} \leq 1000 \text{ mm (Ok)} \\ S_{\text{pakai}} &= 150 \text{ cm}\end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai **Ø19-150**

$$A_s \text{ pakai} = \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1650}{150} = 3119 \text{ mm}$$

Syarat :

$As \text{ pakai} > As \text{ perlu}$

$3119 \text{ mm}^2 > 2290 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

4.10.2 PONDASI TIPE 2

4.10.2.1 Perhitungan Pondasi dan Dimensi Poer

a. Data Perencanaan

Kedalaman tiang : 12,5 m

Diameter tiang pancang : 30 cm = 0,3 m

Luas tiang pancang (A_p) : $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$
 $: \frac{1}{4} \pi \cdot 0,3^2$
 $: 0,071 \text{ m}^2$

Luas selimut tiang (A_s) : $\pi \cdot d \cdot L$
 $: \pi \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 12,5 \text{ m}$
 $: 11,775 \text{ m}^2$

Safety Factor (SF) : 3

Tebal selimut beton : 75 mm

b. Perhitungan Daya Dukung Ijin (Pijin)

Daya dukung ijin pondasi dihitung dari data SPT, dari data tersebut diperoleh nilai N (nilai SPT pada ujung tiang) dan N_{av} (rata-rata nilai SPT sepanjang tiang).

N (Nilai SPT pada ujung tanah) : 11 blow/ft = 32,28 blow/m

$N_{av} = \frac{(8+10+8+13+11)}{5} = 10 \text{ blow/feet} = 29,34 \text{ blow/m}$

Daya dukung ultimate (Q_u) = $Q_p + \frac{Q_s}{5}$
 $= (40 \cdot N \cdot A_p) + \frac{N_{av} \cdot A_s}{5}$
 $= (40 \cdot 32,28 \text{ blow/m} \cdot 0,071 \text{ m}^2) + \frac{29,34 \cdot 11,775}{5}$
 $= 160,398 \text{ ton}$

Daya dukung ijin (Q_{ijin}) = $\frac{Q_u}{SF} = \frac{160,39 \text{ ton}}{3} = 53,47 \text{ ton}$

Daya dukung bahan berdasarkan data tiang pancang PT Wijaya Karya Beton untuk diameter 30 cm class A2 adalah 72,6 ton

Classification

Outside Diameter D (mm)	Wall Thickness T (mm)	Class	Concrete Cross Section (mm ²)	Unit Weight (kg/m)	Length L (m)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40

Gambar 4.10 8 Klasifikasi tiang pancang PT Wijaya Karya

c. Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang

Diketahui output SAP 2000

- Akibat beban tetap (1,0D+1,0L)
P = 112182,58 Kg
- Akibat Beban Sementara (1,0D + 1,0L+1,0Eqx+0,3Eqy)
P = 117725,67 Kg
- Akibat beban sementara (1,0D+1,0L+0,3Eqx+1,0Eqy)
P = 114314,79 Kg

Maka diambil Pmax = 117725,67 Kg = 117,7 ton

d. Perencanaan Dimensi Poer Tipe 1

- Perhitungan beban pondasi sebelum ditambahkan berat sendiri poer

$$n = \frac{P_{ijin\ max}}{P_{ijin\ tanah}} = \frac{117,7\ ton}{53,47\ ton} = 2,2,04 \approx 3\ buah$$

Maka direncanakan tiang pancang sebanyak 3 buah

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam menghitung jarak antara tiang pancang (S) menurut buku menghitung buku karangan **Karl Terzagi dan Ralph B. Peck** dalam bukunya **Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2** menyebutkan bahwa :

Perhitungan jarak antara tiang pancang (s) :

$$\begin{array}{llll} 2,5\ D & \leq & s & \leq & 3D \\ 2,5 \cdot 30\ cm & \leq & s & \leq & 3 \cdot 30cm \\ 75cm & \leq & s & \leq & 90\ cm \end{array}$$

Dipakai $s = 90 \text{ cm} = 0,90 \text{ m}$
 Arah $x = 90 \text{ cm} = 0,90 \text{ m}$
 Arah $y = 90 \text{ cm} = 0,90 \text{ m}$

Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi poer (s')

$1,5 D$	\leq	s'	\leq	$2D$
$1,5.30\text{cm}$	\leq	s'	\leq	2.30 cm
45 cm	\leq	s'	\leq	60 cm

Dipakai $s' = 5 \text{ cm} = 0,45 \text{ m}$

Dapat disimpulkan ukuran panjang dan lebar poer yaitu :

Panjang poer	$= 1,8 \text{ m}$	$= 1800 \text{ mm}$
Lebar poer	$= 1,67 \text{ m}$	$= 1670 \text{ mm}$

- Periksa ulang kebutuhan tiang pancang setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan tebal poer diasumsikan 400 mm

P_{\max}	$= 117725,67 \text{ Kg}$	
Berat Poer	$= (1,8 \text{ m} \cdot 1,67 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3)$	
	$= 2885,76 \text{ kg}$	+

$$\begin{aligned} \Sigma P &= 120611,43 \text{ kg} \\ n &= \frac{\Sigma P}{P_{ijin \text{ tanah}}} = \frac{120,6 \text{ ton}}{53,47 \text{ ton}} = 2,25 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Setelah ditambahkan berat sendiri poer dan tanah dengan dimensi $(1,8 \text{ m} \times 1,67 \text{ m})$ tetap dibutuhkan 3 buah tiang pancang

e. Perhitungan Daya Dukung Poer berdasarkan efisiensi dari buku “ANALISA DAN DESAIN PONDASI “ Jilid 2 karya Joseph E Bowles halamam 379 , perhitungan daya dukung poer berdasarkan efisiensi adalah sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1).n}{90.m.n}$$

Dimana :

m = banyaknya tiang dalam 1 baris

n = banyaknya baris

θ = arc tg D/s

D = diameter tiang pancang

s = jarak antar As tiang pancang

$$\eta = 1 - \theta \frac{(n-1).m + (m-1).n}{90.m.n}$$

$$\eta = 1 - \theta \frac{(2-1).2 + (2-1).2}{90.2.2}$$

$$\eta = 0,758$$

$$\begin{aligned} P_{ijin \text{ tanah}} &= 0,758 \cdot P_{ijin \text{ tanah}} \\ &= 0,758 \cdot 53,47 \text{ ton} \\ &= 40,52 \text{ ton} = 40515,40 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Syarat :

Pijin tanah < Pijin bahan

40,52 ton < 72,6 ton

Maka P ijin = 40,52 ton

$$n = \frac{\Sigma P}{P_{ijin \text{ tanah}}} = \frac{120,6 \text{ ton}}{40,52 \text{ ton}} = 2,9 \approx 3 \text{ buah}$$

f. Perhitungan Daya Dukung Tiang Dalam Kelompok

Dari output SAP 2000 ditinjau joint 51 dan didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut :

- Akibat beban tetap (1D+1L)

$$P = 112182,58 \text{ Kg}$$

$$M_x = 713,345 \text{ Kg}$$

$$M_y = -1378,16 \text{ Kg}$$

- Akibat Beban Sementara(1D+1L+1Eqx+0,3Eqy)

$$P = 117725,67 \text{ Kg}$$

$$M_x = 2503,019 \quad \text{Kg}$$

$$M_y = 4776,867 \quad \text{Kg}$$

• Akibat Beban Sementara (1D+1L+0,3Eqx+1Eqy)

$$P = 114314,79 \quad \text{Kg}$$

$$M_x = 3732,626 \quad \text{Kg}$$

$$M_y = 2684,288 \quad \text{Kg}$$

✓ P akibat Beban Tetap (1,0 D + 1,0 L)

$$P = 112182,58 \quad \text{Kg}$$

$$M_x = 713,345 \quad \text{Kg}$$

$$M_y = -1378,16 \quad \text{Kg}$$

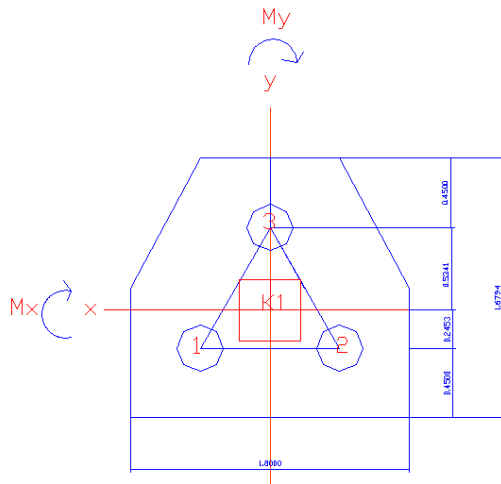
Periksa ulang kebutuhan tiang pancang , Diasumsikan tebal poer= 400 mm.

$$\text{BS Poer} = 2921,832 \quad \text{kg}$$

$$P_{\text{max}} = 112182,58 \quad \text{kg} +$$

$$\Sigma P = 115104,412 \quad \text{kg}$$

$$n = \frac{\Sigma P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{115104,412 \quad \text{kg}}{40515,40 \quad \text{kg}} = 2,84 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$



	x (m)	x ²		y (m)	y ²
X1	0.45	0.2025	Y1	0.24	0.0576
X2	0.45	0.2025	Y2	0.24	0.0576
X3	0	0	Y3	0.53	0.2809
Σ		0.405	Σ		0.3961

$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{115104,412}{3} - \frac{(-1378,16) \cdot 0,45}{0,405} + \frac{713,345 \cdot 0,24}{0,3961} \\
 &= 40331,647 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{115104,412}{3} - \frac{(-1378,16) \cdot 0,45}{0,405} + \frac{713,345 \cdot 0,24}{0,3961}
 \end{aligned}$$

Gambar 4.10 9 Penampang poer akibat beban tetap

$$\begin{aligned}
 P3 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{115104,412}{3} - \frac{(-1378,16) \cdot 0}{0,405} + \frac{713,345 \cdot 0,24}{0,3961} \\
 &= 39322,626 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang adalah 40331,647 kg = 40,3 ton

$$\begin{array}{lll}
 P_{\max} &= 40,3 \text{ ton} &\leq \eta \cdot P_{\text{ijin tanah}} \\
 P_{\max} &= 40,3 \text{ ton} &\leq 40,51 \text{ ton} \quad \textbf{(memenuhi)}
 \end{array}$$

- ✓ P akibat beban sementara (1D+1L+1Eqx+0,3Eqy)
 Berdasarkan PPIUG pasal 1.2 (2) untuk tanah dengan kondisi lunak daya dukung tiang diizinkan dapat dinaikan sampai 50%

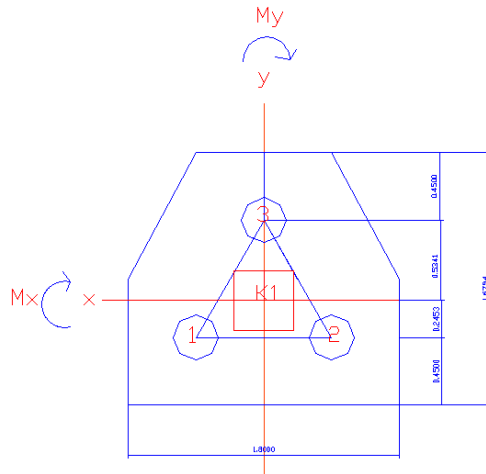
$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin setelah dinaikan 50\%}} &= P_{\text{ijin tanah}} \cdot 1,5 \\
 &= 0,758 \cdot 53,47 \text{ ton} \cdot 1,5 \\
 &= 60,7 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= 117725,67 \text{ Kg} \\
 M_x &= 2503,019 \text{ Kg} \\
 M_y &= 4776,867 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri poer} &= 2943,47 \text{ kg} \\
 P_{\max} &= 117725,67 \text{ kg} +
 \end{aligned}$$

$$\Sigma P = 120\,91 \text{ kg}$$

$$n = \frac{\Sigma P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{120669,14 \text{ kg}}{52670,02 \text{ kg}} = 2,29 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$



Gambar 4.10 10 Penampang poer akibat beban sementara

	x (m)	x ²		y (m)	y ²
X1	0.45	0.2025	Y1	0.24	0.0576
X2	0.45	0.2025	Y2	0.24	0.0576
X3	0	0	Y3	0.53	0.2809
Σ		0.405	Σ		0.3961

$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{120669,1452}{3} - \frac{(4776,867) \cdot 0,45}{0,405} + \frac{(2503,019) \cdot 0,24}{0,3961} \\
 &= 36432,017 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{120669,1452}{3} + \frac{(4776,867) \cdot 0,45}{0,405} - \frac{(2503,019) \cdot 0,24}{0,3961} \\
 &= 44014,080 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P3 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{120669,1452}{3} + \frac{(4776,867) \cdot 0}{0,405} + \frac{(2503,019) \cdot 0,53}{0,3961} \\
 &= 43572,203 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 44014,080 kg

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &\leq P_{\text{ijintanah}} \text{ yang dinaikan} \\
 44014,080 \text{ kg} &\leq 60773,10 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

- ✓ P akibat beban sementara (1D+1L+0,3Eqx+1Eqy)
 Berdasarkan PPIUG pasal 1.2 (2) untuk tanah dengan kondisi lunak daya dukung tiang diizinkan dapat dinaikan sampai 50%

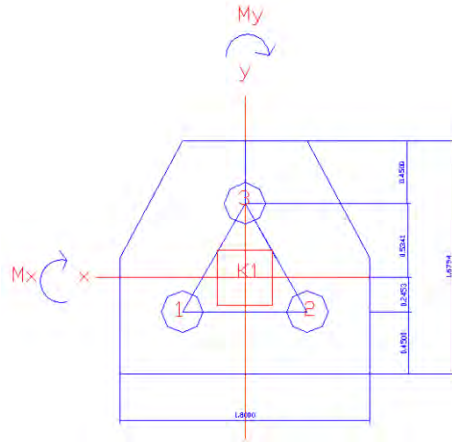
$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin}} \text{ setelah dinaikan } 50\% &= P_{\text{ijin tanah}} \cdot 1,5 \\
 &= 0,758 \cdot 53,47 \text{ ton} \cdot 1,5 \\
 &= 60,77 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= 114314,79 \quad \text{Kg} \\
 Mx &= 3732,626 \quad \text{Kg} \\
 My &= 2684,288 \quad \text{Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri poer} &= 2943,47 \quad \text{kg} \\
 P_{\max} &= 114314,79 \text{ kg} \quad +
 \end{aligned}$$

$$\sum P = 117258,2 \text{ kg}$$

$$n = \frac{\sum P}{\text{Pijin tanah}} = \frac{117258,26 \text{ kg}}{60773,1 \text{ kg}} = 2,978 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$



Gambar 4.10 11 Penampang pilecap akibat beban sementara

	x (m)	x ²		y (m)	y ²
X1	0.45	0.2025	Y1	0.24	0.0576
X2	0.45	0.2025	Y2	0.24	0.0576
X3	0	0	Y3	0.53	0.2809
Σ		0.405	Σ		0.3961

$$P1 = \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2}$$

$$= \frac{114314,79}{3} - \frac{(2684,288) \cdot 0,45}{0,405} + \frac{(3732,626) \cdot 0,24}{0,3961}$$

$$= 38365,173 \text{ kg}$$

$$P2 = \frac{\sum P}{n} - \frac{My \cdot X}{\sum x^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2}$$

$$= \frac{114314,79}{3} + \frac{(2684,288) \cdot 0,45}{0,405} - \frac{(3732,626) \cdot 0,24}{0,3961}$$

$$= 39807,004 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 P_3 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{M_y . X}{\sum x^2} + \frac{M_x . Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{114314,79}{3} + \frac{(2684,288).0}{0,405} - \frac{(3732,626) . 0,53}{0,2809} \\
 &= 44080,513 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 44080,513 kg

$$\begin{array}{ll}
 P_{\max} & \leq P_{\text{ijintanah yang dinaikan}} \\
 44080,513 \text{ kg} & \leq 60773,10 \text{ kg} \quad \textbf{(memenuhi)}
 \end{array}$$

g. Perhitungan Tebal Poer

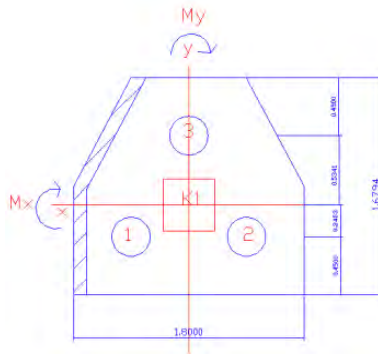
Menghitung d (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah . Diambil nilai d terbesar diantara keduanya .

Dalam perencanaannya tebal poer harus memenuhi syarat, yaitu kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi, dimana V_{ult} adalah senilai dengan P_u , hal ini terjadi Karen apondasi yang digunakan adalah tiang pancang dan geser pons terjadi di poer, bukan pada pondasi. Maka V_c diambil dari perhitungan berikut .

Diketahui P_u max dari output SAP adalah :

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad P_u &= \frac{P_{\text{ijin total}}}{\text{Luasan Poer}} = \frac{117725,67 \text{ Kg}}{180\text{cm} . 167\text{cm}} = 3,916 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 0,392 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

h. Perhitungan Geser Satu Arah pada Poer Akibat Kolom



Gambar 4.10 12 Bidang Kritis pons satu arah

$$\begin{aligned}
 L' &= \left(\frac{1}{2} \times B \right) - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar kolom} \right) - d \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 1800 \right) - \left(\frac{1}{2} \times 400 \right) - d \\
 &= 900 - 200 - d \\
 &= 700 - d
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_u \times b_w \times L' \\
 &= 0,39 \cdot 1800 \cdot (700-d) \\
 &= 702 \cdot (700-d) \\
 &= 491400-702d
 \end{aligned}$$

Gaya Geser yang mampu dipikul oleh beton V_c

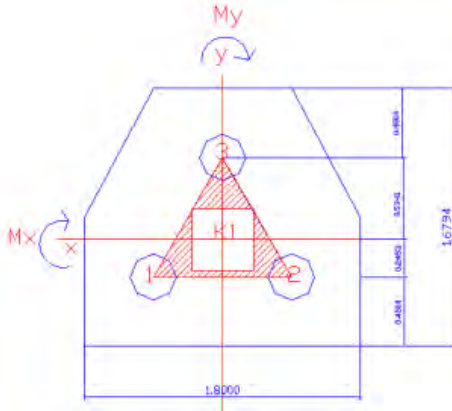
$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.8.6})$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \phi \cdot V_c \\
 491400-702d &\leq 0,75 \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \cdot 1800 \cdot d
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rcl}
 491400-702d & \leq & 1125 \cdot d \\
 -1827d & \leq & -491400 \\
 d & \geq & 268,96 \text{ mm}
 \end{array}$$

i . Perhitungan Geser Dua Arah Pada Poer



Gambar 4.10 13 Penampang kritis akibat geser pons dua arah

Berdasarkan **SNI 03-2847-2002, pasal 13,12.(2) poin a, b , dan c**, untuk perencanaan pelat atau pondasi telapak aksi dua arah dan untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil .

$$\text{Pers.1 } V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = \frac{400}{400} = 1$$

b_o = keliling dari penampang kritis

$$= 2 \cdot (400+400) + 4d$$

$$= 1600 + 4d$$

$$\text{Pers.2 } V_c = \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{12}$$

Dimana :

$$\alpha s = 40 \text{ (kolom dalam)}$$

$$\text{Pers. 3 } V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

Luas Tributari Area (At)

$$\begin{aligned} At &= (L_{poer} \times B_{poer}) - ((L_{kolom} + d) \times (B_{kolom} + d)) \\ &= (1800 \cdot 1670) - ((400 + d) \cdot (400 + d)) \\ &= 3006000 - (160000 + 800d + d^2) \\ &= 2846000 - 800d - d^2 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser (Vu)

$$\begin{aligned} V_u &= q_t \times At \\ &= 0,39 \times (2846000 - 800d - d^2) \\ &= 1109940 - 312d - 0,39d^2 \end{aligned}$$

Persamaan 1

$$\begin{aligned} - V_c &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \\ &= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot (1600 + 4d) \cdot d \\ &= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot (1600 + 4d) \cdot d \\ &= 4000d + 10d^2 \end{aligned}$$

Syarat : V_c	\geq	V_u
$4000d + 10d^2$	\geq	$1109940 - 312d - 0,39d^2$
$10,39d^2 + 4312d - 1109940$	\geq	0
$d^2 + 415,01d - 106827,7$	\geq	0
d_{12}	\geq	$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$
d_{12}	\geq	$\frac{-415,01 \pm \sqrt{415,01^2 - 4 \cdot 1 \cdot -106827,7}}{2 \cdot 1}$
d_1	\geq	$182,14 \text{ mm}$
d_2	\geq	$-594,65 \text{ mm}$

Akar yang memenuhi syarat adalah :

$$d_1 \geq 182,14 \text{ mm}$$

Persamaan 2

$$\begin{aligned} - V_c &= \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \frac{\sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d}{12} \\ &= \left(\frac{40 \cdot d}{1600+4d} + 2 \right) \frac{\sqrt{25} \cdot (1600+4d) \cdot d}{12} \\ &= \left(\frac{40d+8d+3200}{1600+4d} \right) \frac{\sqrt{25} \cdot (1600+4d) \cdot d}{12} \\ &= (40d + 8d + 3200) \frac{5d}{12} \\ &= (40d+8d+3200) \times 0,417 d \\ &= 16,68 d^2 + 3,336d^2 + 1334,4 d \\ &= 20,016 d^2 + 1334,4 d \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } V_c \geq V_u$$

$$20,016 d^2 + 1334,4 d \geq 1109940 - 312 d - 0,39d^2$$

$$20,55 d^2 + 1646 d - 1109940 \geq 0$$

$$d^2 + 80,09 d - 54011,6 \geq 0$$

$$d_{12} \geq \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_{12} \geq \frac{-80,09 \pm \sqrt{80,09^2 - 4 \cdot 1 \cdot -54011,6}}{2 \cdot 1}$$

$$d_1 \geq 195,78 \text{ mm}$$

$$d_2 \geq -275,87 \text{ mm}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah :

$$d_2 \geq 195,78 \text{ mm}$$

Persamaan 3

$$\begin{aligned} - V_c &= \frac{1}{3} \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{25} \cdot (1600 + 4d) \cdot d \\ &= \frac{5}{3} \cdot (1600 + 4d) \cdot d \\ &= 1,667 d (1600+4d) \end{aligned}$$

$$= 2667,2 d + 6,668 d^2$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Syarat : } V_c & \geq & V_u \\ (2667,2 d + 6,668 d^2) & \geq & 1109940 - 312 d - 0,39 d^2 \\ (7,058 d^2 + 2979,2 - 1109940) & \geq & 0 \\ d^2 + 422,102 d - 157259,8 & \geq & 0 \end{array}$$

$$d_{12} \geq \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_{12} \geq \frac{-422,102 \pm \sqrt{422,102^2 - 4 \cdot 1 \cdot -157259,8}}{2 \cdot 1}$$

$$d_1 \geq 238,17 \text{ mm}$$

$$d_2 \geq -660,2 \text{ mm}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah :

$$d_1 \geq \mathbf{238,17 \text{ mm}}$$

Dipakai d yang terbesar = 268,96 mm

$$\begin{aligned} \text{Dipakai h} &= \text{tebal selimut} + D_{\text{poer}} + \frac{1}{2} \text{ tul Poer} + \\ \text{drenc} &= 75 \text{ mm} + 19 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} + 268,96 \\ \text{mm} &= 602,32 \text{ mm} \equiv 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

j. Cek Terhadap Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Panjang penyaluran dasar minimum untuk batang ulir yang berada dalam keadaan tekan adalah $\frac{db \cdot f_y}{(4 \cdot \sqrt{f_c})}$ tetapi tidak kurang dari 0,04 db.

f_y

(SNI 03-2847-2002 pasal 14.16.1)

$$\frac{db \cdot f_y}{4 \cdot \sqrt{f_c}} \geq 0,04 \cdot db \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} \frac{19 \cdot 400}{4 \cdot \sqrt{25}} &\geq 0,04 \cdot 19 \cdot 400 \\ 380 \text{ mm} &\geq 304 \text{ mm} \end{aligned}$$

(memenuhi)

Berdasarkan hasil itungan tebal poer diambil d terbesar , yaitu $d \geq 268,96 \text{ mm}$ dan berdasarkan perhitungan panjang penyaluran tulangan dibutuhkan 380 mm , jadi dipakai tebal poer (h) = 600 mm

4.10.2.2 Perencanaan Tulangan Lentur Poer

a. Data Perencanaan

Dimensi poer	= $1,8 \text{ m} \times 1,67 \text{ m}$
Jumlah tiang pancang	= 3 buah
Dimensi kolom	= $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$
Mutu beton (f_c')	= 25 Mpa
Mutu baja (f_y)	= 400 Mpa
Diameter tul.utama	= 19 mm
Selimut beton	= 75 mm
h	= 600 mm
ϕ	= $0,8$
$dx = 600 - 75 - (\frac{1}{2} \cdot 19)$	= $515,5 \text{ mm}$
$dy = 600 - 75 - 19 - (\frac{1}{2} \cdot 19)$	= $496,5 \text{ mm}$

▪ Penulangan Poer Arah X

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :

$$q_u = 1,8 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$= 2592 \text{ kg/m}$$

$$Q_u = q_u \times (0,45 + 0,175)$$

$$= 2592 \text{ kg/m} \times (0,45 + 0,175) \text{ m}$$

$$= 1620 \text{ kg}$$

P_{max} akibat beban sementara ($1D + 1L + 1Eq_x$)

$$P_{\text{max}} = 44014,080 \text{ kg} = 44,01 \text{ ton}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$M_u = M_q - M_p$$

$$= (Q_u \times \frac{1}{2} b_1) - (P \times \text{jarak As tiang ke tepi kolom})$$

$$= (1620 \cdot 0,5 \cdot (0,45 + 0,175)) - (44014,080 \text{ kg} \cdot 0,175 \text{ m})$$

$$= -7196,214029 \text{ kgm}$$

$$= -7192140,29 \text{ Nmm}$$

$$= 7192140,29 \text{ Nmm} \text{ (ambil nilai mutlak)}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{7192140,29}{0,8} = 89952675,37 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dx^2} = \frac{89952675,37}{1,8 \cdot 515,5} = 0,19$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,19}{400}} \right) \\ &= 0,0005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{balance} &= \frac{0,85 \cdot fc' \cdot \beta}{fy} \cdot \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,004$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\ &= 0,75 \times 0,027 \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } \rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{max}$$

$$0,004 \geq 0,00005 \leq 0,02 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Sesuai SNI-03-2847-2002 pasal 12.5 (3) sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan massif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan .

Maka , $\rho \text{ pakai} = 1,3 \cdot \rho_{perlu}$

$$= 1,3 \cdot 0,0005$$

$$= 0,0006, \text{ maka pakai } \rho_{\min} = 0,004$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d_x$$

$$= 0,004 \times 1800 \times 515,5$$

$$= 3248 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat spasi antar tulangan} \longrightarrow S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 600 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan Ø 19

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1800}{3248} = 157,1 \text{ mm} \leq 1200 \text{ mm (Ok)}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ cm}$$

Tulangan yang dipakai **Ø19-150**

$$A_s \text{ pakai} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1800}{150} = 3402 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$3402 \text{ mm}^2 > 3248 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

▪ Penulangan Poer Arah Y

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :

$$q_u = 1,8 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1749,6 \text{ kg/m}$$

$$Q_u = q_u \times (0,45 + 0,175)$$

$$= 1749,6 \text{ kg/m} \times (0,45 + 0,175) \text{ m}$$

$$= 1093,5 \text{ kg}$$

P max akibat beban sementara (1D+1L+1Eqy)

$$P_{\max} = 44080,513 \text{ kg} = 44,08 \text{ ton}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned}
 Mu &= M_q - M_p \\
 &= (Q_u \times \frac{1}{2} b_1) - (P \times \text{jarak As tiang ke tepi kolom}) \\
 &= (1093,5,0,5 \cdot (0,45+0,175)) - (44080,513 \text{ kg} \cdot 0,175\text{m}) \\
 &= -7372,371112 \text{ kgm} \\
 &= -73723711,12 \text{ Nmm} \\
 &= 73723711,12 \text{ Nmm (ambil nilai mutlak)}
 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{73723711,12}{0,8} = 92154638,89 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d \cdot y^2} = \frac{92154638,89}{1800 \cdot 496,5} = 0,21$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,82 \cdot 0,21}{400}} \right) \\
 &= 0,0005
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{balance} &= \frac{0,85 \cdot f_{c'} \cdot \beta}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,027
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\
 &= 0,75 \times 0,027 \\
 &= 0,02
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } \rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{max}$$

$$0,0035 \geq 0,0005 \leq 0,02 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Sesuai SNI-03-2847-2002 pasal 12.5 (3) sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan massif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan .

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \rho_{\text{pakai}} &= 1,3 \cdot \rho_{\text{perlu}} \\ &= 1,3 \cdot 0,0005 \\ &= 0,0007, \text{ maka pakai } \rho_{\text{min}} = 0,004 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d_y \\ &= 0,004 \times 1800 \times 496,5 \\ &= 3128 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat spasi antar tulangan} &\longrightarrow S_{\text{maks}} \leq 2h \\ S_{\text{maks}} &= 2 \times 600 \text{ mm} = 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan Ø 19

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s} \\ S &= \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1800}{3128} = 163,2 \text{ mm} \leq 1200 \text{ mm (Ok)} \\ S_{\text{pakai}} &= 150 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai **Ø19-150**

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1800}{150} = 3402 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &> \text{As perlu} \\ 3402 \text{ mm}^2 &> 3128 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

BAB V

PENUTUP

1.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Proyek Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain :

1. Modifikasi Struktur Gedung Rektorat Universitas Negeri Surabaya masuk kedalam Kategori Desain Seismik C dan di desain menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM)
2. Dari keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini dapat disimpulkan beberapa data perencanaan sebagai berikut :

✓ KOMPONEN PELAT

1. Pelat A

- Tulangan utama

Tumpuan arah X : Ø10-160 mm

Tumpuan arah Y : Ø10-180 mm

Lapangan arah X : Ø10-160 mm

Lapangan arah Y : Ø10-180 mm

- Tulangan susut

Tumpuan arah X : Ø8-160 mm

Tumpuan arah Y : Ø8-160 mm

2. Pelat B

- Tulangan utama

Tumpuan arah X : Ø10-160 mm

Tumpuan arah Y : Ø10-180 mm

Lapangan arah X : Ø10-160 mm

Lapangan arah Y : Ø10-180 mm

- Tulangan susut

Tumpuan arah X : Ø8-160 mm

Tumpuan arah Y : Ø8-160 mm

✓ **KOMPONEN TANGGA**

1. Dimensi Tangga dan Bordes

Tebal rencana pelat tangga	: 15 cm
Tebal rencana pelat bordes	: 15 cm
Lebar injakan (i)	: 28 cm
Tinggi tanjakan (t)	: 18 cm

2. Penulangan Pelat Tangga

• Tangga tipe 1Anak tangga

Tulangan Utama

Tulangan arah X : Ø16-150 mm

Tulangan arah Y : Ø16-100 mm

Tulangan Susut

Tulangan arah X : D8-150 mm

Tulangan arah Y : D8-150 mm

Bordes tangga

Tulangan arah X : Ø13-150 mm

Tulangan arah Y : Ø13-100 mm

Tulangan Susut

Tulangan arah X : D8-150 mm

Tulangan arah Y : D8-150 mm

• Tangga tipe 2Anak tangga

Tulangan arah X : Ø16-150 mm

Tulangan arah Y : Ø16- 60 mm

Tulangan Susut

Tulangan arah X : D8-150 m

Tulangan arah Y : D8-150 mm

3. Penulangan Balok Bordes

Dimensi : 30 cm x 40 cm

• Tulangan Torsi : 2 Ø 13

• Tulangan Lentur

Tumpuan Kiri

Tulangan Tarik : 2 D 19

Tulangan Tekan	: 2 D 19
<u>Lapangan</u>	
Tulangan Tarik	: 2 D 19
Tulangan Tekan	: 2 D 19
<u>Tumpuan Kanan</u>	
Tulangan Tarik	: 2 D 19
Tulangan Tekan	: 2 D 19
• Tulangan Geser	
Tumpuan	: Ø 10-80
Lapangan	: Ø 10-80

✓ KOMPONEN BALOK

1. Balok Induk Memanjang

Dimensi	: 30 cm x 45 cm
Tulangan Torsi	: 4 D 10
Tulangan Lentur	
<u>Tumpuan Kiri</u>	
Tulangan Tarik	: 5 D 19
Tulangan Tekan	: 2 D 19
<u>Lapangan</u>	
Tulangan Tarik	: 4 D 19
Tulangan Tekan	: 2 D 19
<u>Tumpuan Kanan</u>	
Tulangan Tarik	: 4 D 19
Tulangan Tekan	: 2 D 19
<u>Tulangan Geser</u>	
Tumpuan	: Ø10-95
Lapangan	: Ø10-95

2. Balok Anak Melintang ‘

Dimensi	: 30cm x 40 cm
Tulangan Torsi	: 2 D 10
Tulangan Lentur	
<u>Tumpuan Kiri</u>	
Tulangan Tarik	: 3 D 19

Tulangan Tekan	: 2 D 19
<u>Lapangan</u>	
Tulangan Tarik	: 2 D 19
Tulangan Tekan	: 2 D 19
<u>Tumpuan Kanan</u>	
Tulangan Tarik	: 3 D 19
Tulangan Tekan	: 2 D 19
<u>Tulangan Geser</u>	
Tumpuan	: Ø10-85
Lapangan	: Ø10-85

✓ **KOMPONEN KOLOM**

1. Kolom K1

Dimensi	: 40 cm x 40 cm
Tulangan Lentur	: 8 D 19
Tulangan Geser	: Ø10 – 150

✓ **KOMPONEN SLOOF**

1. Sloof 1

Dimensi	: 30 cm x 45 cm
<u>Tulangan Lentur</u>	
Tulangan Tarik	: 3 D 25
Tulangan Tekan	: 3 D 25
<u>Tulangan Geser</u>	
Tumpuan	: Ø 10 – 85
Lapangan	: Ø 10 – 85

✓ **KOMPONEN PONDASI dan POER**

1. Pondasi Tipe 1

Kedalaman tiang pancang	: 12,5 m
Diameter tiang pancang	: 30 cm
Dimensi Poer	: 1,65 m x 1,65 m x 0,5m
Tulangan Poer arah X	: Ø 19 -150
Tulangan Poer arah Y	: Ø 19 -150

2. Pondasi Tipe 2

Kedalaman Tiang Pancang : 12,5 m

Diameter tiang pancang : 30 cm

Dimensi Poer : 1,8 m x 1,67 m x 0,6m

Tulangan Poer arah X : Ø 19 -150

Tulangan Poer arah Y : Ø 19 -150

1.2 Saran

1. Dalam merencanakan sebuah struktur gedung perlu dilakukan studi lebih mendalam untuk menghasilkan perencanaan struktur dengan mempertimbangkan aspek teknik, estetika, maupun ekonomi, sehingga perencanaan yang dihasilkan kuat, ekonomis, dan tepat waktu.
2. Sebelum mulai merencanakan lengkapi terlebih dahulu data-data yang dibutuhkan, pastikan saat mulai merencanakan tidak ada data yang kurang seperti data tanah, dan kelengkapan lain yang diperlukan.
3. Perencanaan struktur gedung dengan metode SRPMM dapat digunakan untuk bangunan pada Kategori Desain Seismik B dan C.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standarisasi Nasional. (2012). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: PU.
2. D. P. (1971). Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
3. D. P. (2012). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
4. Departemen Pekerjaan Umum . (1983). Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983). Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
5. Departemen Pekerjaan Umum. (2002). Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002). Jakarta: Yayasan Penerbit PU.
6. Kurniawan, R., & Raharja, R. (2009). Perencanaan Struktur Gedung Bank NISP Jalan Sisingamaraja Nomor 78-80 Semarang. Semarang.
7. Standarisasi Nasional Indonesia. (2013). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Yayasan Penerbit PU.
8. Wang, C. K., & Salmon, C. G. (1990). Desain Beton Bertulang Jilid I. Jakarta: Erlangga.
9. Wang, C. K., & Salmon, C. G. (1994). Desain Beton Bertulang Jilid II. Jakarta: Erlangga.



DRILLING LOG

Project No. : 1	Project : Waduk	Type of Drilling : Rotary	Remarks:
Bore Hole No. : BM - I	Lokasi : Lidah Kulon Surabaya	Date : 11-14 Mei 2012	UD = Undisturb Sample
Water Table : -3,00 m	Elevation : $\pm 0,0$ (Muka Tanah Setempat)	Driller : Purwanto	SPT = SPT Test

Scale in m	Elevation	Depth in m	Thickness in m	Legend	Type of Soil	Colour	Relative Density or Consistency	General Remarks	UD / SPT TEST		Standard Penetration Test				N - Value
									Depth in m	Sample Code	N-Value Blows/30 cm	Blows per each 15 cm			
												15 cm	15 cm	15 cm	
0		0.00													
1					Urugan										
2															
3									2.5	SPT-1	8	2	3	5	8
4									5.5						
5					Lempung Berlanau	Coklat	Medium		6.5	SPT-2	10	3	4	6	10
6									5.5						
7															
8									7.5	SPT-3	8	3	3	5	8
9									6.0						
10		-10.00	10.00						10.0						
11					Lempung Berlanau Berkerikil	Coklat	Medium		10.5	SPT-4	13	5	6	7	13
12		-12.00	2.00						10.5						
13					Lempung Berlanau	Abu - abu	Medium and Silt		10.5	SPT-5	11	5	5	6	11
14									13.0						
15															
16									16.0	SPT-6	21	8	10	11	21
17									15.5						
		-17.50	5.50												
				END OF BORING					17.5	SPT-7	20	7	9	11	20
									19.0						

0102030405060

Legenda :

= Lempung	Pasir =	Batu =
Lanau =	Merikil =	Muka air Tanah =



DRILLING LOG

Project No. : 1				Project : Waduk				Type of Drilling : Rotary				Remarks.	
Bore Hole No. : BM - II				Lokasi : Lidah Kulon Surabaya				Date : 14-16 Mei 2012				UD = Undisturb Sample	
Water Table : -3,00 m				Elevation : ± 0,0 (Muka Tanah Setempat)				Driller : Purwanto				SPT = SPT Test	

Scale in m	Elevation	Depth in m	Thickness in m	Legend	Type of Soil	Colour	Relative Density or Consistency	General Remarks	UD / SPT TEST		Standard Penetration Test					
									Depth in m	Sample Code	N-Value Blows/30 cm	Blows per each 15 cm			N - Value	
												15 cm	15 cm	15 cm		
0		0.00														0 10 20 30 40 50 60
1																
2																
3									28	SPT-1	14	4	6	8		14
4									30							
5									50	SPT-2	14	5	7	7		14
6					Lempung Berlanau	Coklat	Medium		55							
7									75	SPT-3	17	6	8	9		17
8									80							
9																
10									100	SPT-4	14	6	7	7		14
11		-11.00	11.00						105							
12																
13									125	SPT-5	20	7	9	11		20
14					Lempung Berlanau	Abu - abu	Medium s/d Stiff		130							
15																
16									150	SPT-6	25	7	11	14		25
17									155							
		-17.50	6.50						175	SPT-7	28	9	11	15		26
					END OF BORING											

Legend :

= Lempung

= Lanau =

= Pasir =

= Rerikil =

= Batu =

= Muka air Tanah =

Legenda :

= Lempung

Pasir =

Batu =

Muka air Tanah =

Lanau =

Kerikil =

HEAVY TO

MEDIUM DUTY ANCHORING

DynaBolt™ Sleeve Anchors for Solid Materials

Our patented design sleeve anchor with the unique ability to "pull-down" and ensure a tight and secure anchoring of your fixture into solid concrete.

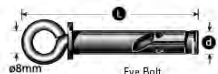
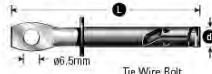
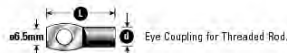
For anchoring timber and steel fixtures to concrete.



d Anchor Size (mm)	L Anchor Length (mm)	t For Fixtures Up To (mm)	d _h Thread Size	d _o Hole ø x h _t Hole Depth (mm)	d _f Fixture Hole ø (mm)	Rec. Working Load kN 32 MPa Tensile* Shear*		Order No.			Order Quantity
6	26	3	M4.5	6 x 30	8	1.8	2.5	D6026	—	—	
	38	12	M4.5	6 x 45	8	2.7	2.5	DP06040	—	DP06040SS	100
	57	30	M4.5	6 x 55	8	2.7	2.5	DP06050	—	DP06050SS	100
8	40	6	M6	8 x 50	10	3.4	4.0	DP08040	—	DP08040SS	100
	66	25	M6	8 x 65	10	4.2	4.0	DP08065	—	DP08065SS	50
	92	50	M6	8 x 75	10	4.2	4.0	DP08090	—	DP08090SS	50
10	41	3	M8	10 x 50	12	3.8	6.4	DP10040	DP10040GH	—	50
	49	20	M8	10 x 55	12	3.8	6.4	DP10050	DP10050GH	DP10050SS	50
	76	30	M8	10 x 65	12	5.9	6.4	DP10075	DP10075GH	DP10075SS	50
	103	50	M8	10 x 80	12	5.9	6.4	DP10100	DP10100GH	DP10100SS	25
	124	80	M8	10 x 85	12	5.9	6.4	DP10125	—	—	25
12	55	10	M10	12 x 70	15	6.3	7.9	DP12060	DP12060GH	DP12060SS	25
	70	15	M10	12 x 70	15	7.7	7.9	DP12070	DP12070GH	DP12070SS	25
	98	45	M10	12 x 95	15	7.7	7.9	DP12100	DP12100GH	DP12100SS	20
	126	70	M10	12 x 95	15	7.7	7.9	DP12125	DP12125GH	DP12125SS	20
16	62	6	M12	16 x 80	19	7.7	10.5	DP16065	DP16065GH	—	20
	106	35	M12	16 x 120	19	11.9	10.5	DP16110	DP16110GH	—	10
	140	65	M12	16 x 120	19	11.9	10.5	DP16140	DP16140GH	—	10
20	81	8	M16	20 x 100	24	10.8	15.6	DP20080	DP20080GH	—	10
	113	25	M16	20 x 125	24	16.6	15.6	DP20115	DP20115GH	—	5
	157	70	M16	20 x 155	24	16.6	15.6	DP20160	—	—	5

DynaBolt™ Hook & Eye Anchors for Solid Materials

A range of special anchors designed to suspend and support cables and frames.



d Anchor Size (mm)	L Anchor/Post Screw Length (mm)	d _h Thread Size	d _o Hole ø x h _t Hole Depth (mm)	Bolt/Post Screw Style	Recommended Working Load* (kg)	Order No.		Order Quantity
6	26	M4.5	6 x 30	Set Lok Bolt	50	D06026S	—	500
	28	M4.5	6 x 41	Set Lok Bolt	75	D06038S	—	100
8	31	M6	8 x 40	Tie Wire Bolt	50	D08042E	—	100
	31	M6	8 x 40	Hook Bolt	60	D08045K	—	100
	40	M6	8 x 45	Eye Bolt	60	D08045X	—	100
8	44	M6	6.5mm Eye	Eye Coupling	—	REM08	—	100
12	52	M10	6.5mm Eye	Eye Coupling	—	REM10	—	50

LAMPIRAN

Shear Connectors



Shear Connectors

Headed Shear Connectors are used as an essential component in composite beam design and construction.

Shank Diameter (d)	Length (L) tolerance	Head Diameter tolerance	Minimum head height HT
19.0 +0.00 -0.38	±1.6	31.7 ± 0.4	8.5
22.2 +0.00 -0.38	±1.6	34.9 ± 0.4	8.5

Material	LOW CARBON STEEL AS1445 S1010 to S1020 Or K1010 to K1020		
Mechanical Properties	Tensile Yield Elongation Reduction of area	→ 410MPa (min) 345MPa (min) 12% 50% (min)	

Shear Connectors		
Size	Part Number	Pack Size
13 X 50	ESC11-13-050	250
13 X 75	ESC11-13-075	250
13 X 100	ESC11-13-100	125
16 X 75	ESC11-16-075	125
16 X 100	ESC11-16-100	100
16 X 150	ESC11-16-150	75
19 X 75	ESC11-19-075	100
19 X 95	ESC11-19-095	75
19 X 100	ESC11-19-100	75
19 X 105	ESC11-19-105	75
19 X 115	ESC11-19-115	60
19 X 120	ESC11-19-120	60
19 X 127	ESC11-19-127	50
19 X 150	ESC11-19-150	50
19 X 178	ESC11-19-178	45
19 X 198	ESC11-19-198	40
22 X 100	ESC11-22-100	50
22 X 125	ESC11-22-125	50
22 X 150	ESC11-22-150	40
22 X 178	ESC11-22-178	40
22 X 198	ESC11-22-198	35

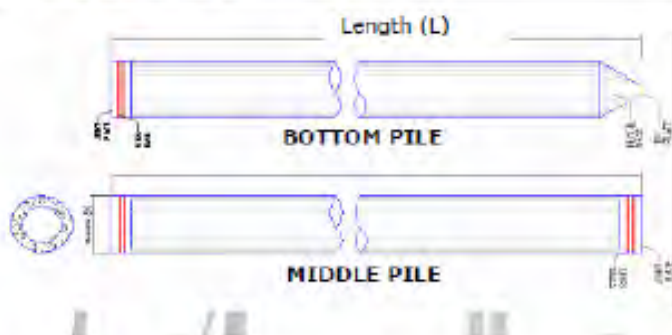


Solutions for the Mining, Materials Processing
& Infrastructure Industries

Distributed by: ANTEC ENGINEERING PTY LTD
9 Chicago Avenue, Blacktown, NSW, 2148, Australia
Ph: +61 (02) 9622-9622 | Fax: +61 (02) 9622-9199
www.antec.com.au

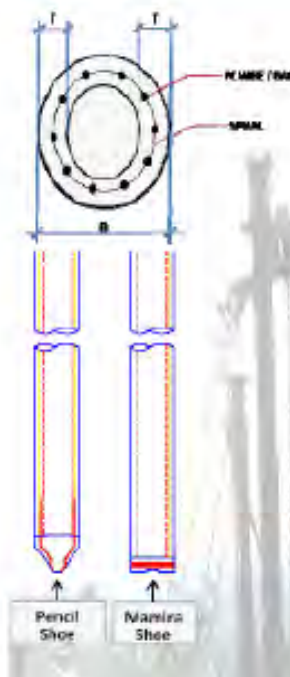
LAMPIRAN DATA SPESIFIKASI TIANG PANCANG

Shape and Dimension



PC SPUN PILES

WUKA BETON
Innovation and Trust



Classification

Outside Diameter D (mm)	Wall Thickness T (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (kg/m)	Length L (M)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				28.00	58.00	229.50
800	120	A1	2564	641	6 - 24	40.70	63.60	415.00
		A2				46.20	84.40	406.20
		A3				51.00	97.80	398.20
		B				55.70	108.20	390.80
		C				70.60	129.80	367.60
1000	140	A1	3872	906	6 - 24	75.00	117.80	614.00
		A2				82.30	139.80	604.80
		A3				93.30	170.90	590.60
		B				105.70	199.70	575.00
		C				123.60	229.90	552.90
1200	150	A1	4948	1237	6 - 24	120.00	180.00	802.40
		A2				130.00	195.00	794.00
		A3				145.00	217.50	778.10
		B				170.00	306.00	751.50
		C				200.00	400.00	721.10



Luki Dia Utariningrum, Penulis dilahirkan di Surabaya, 03 Nopember 1993, merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Sholahuddin Wates Mojokerto, SD Negeri Wates VI Mojokerto, SMP Negeri 2 Mojokerto, SMA Negeri 2 Mojokerto. Setelah lulus dari SMA Negeri 2 Mojokerto tahun 2012, Penulis mengikuti ujian masuk Diploma III Teknik Sipil ITS dan diterima pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112.030.039. Di jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi Bangunan Gedung. Penulis pernah aktif dalam beberapa kegiatan seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh kampus ITS Manyar. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kampus, Selain itu penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan di beberapa kegiatan yang ada selama menjadi mahasiswa di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



Ade Ayu Yulia Saraswati Labina, Penulis dilahirkan di Surabaya, 27 Mei 1994, merupakan anak keempat dari enam bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Islam Ananda, SD Negeri Manukan Kulon V Surabaya, SMP Negeri 3 Surabaya, SMA Negeri 6 Surabaya. Setelah lulus dari SMA Negeri 6 Surabaya tahun 2012, Penulis mengikuti ujian masuk Diploma III Teknik Sipil ITS dan diterima pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112.030.081. Di jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi Bangunan Gedung. Penulis pernah aktif dalam beberapa kegiatan seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh kampus ITS Manyar. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kampus, Selain itu penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan di beberapa kegiatan yang ada selama menjadi mahasiswa di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”